Bernoulli Resolve

Física

6V

Volume 3

Sumário - Física

Módulo A

05 3 Movimento circular

06 5 Leis de Newton

Módulo B

05 7 1ª Lei da Termodinâmica

06 11 2ª Lei da Termodinâmica

Módulo C

05 15 Lentes esféricas

06 17 Instrumentos ópticos

Módulo D

07 19 Associação de resistores

08 21 Resistores no dia a dia

09 24 Instrumentos de medidas elétricas

COMENTÁRIO E RESOLUÇÃO DE QUESTÕES

MÓDULO – A 05

Movimento circular

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra A

Comentário: Nesse exercício, há dois pontos de um mesmo disco, X e Y, girando com velocidades lineares de 50 cm/s e 10 cm/s, respectivamente. Como os dois pontos fazem parte do mesmo disco, eles possuem a mesma velocidade angular. Sendo assim, temos:

$$\omega_x = \omega_y \qquad \frac{v_x}{r_x} = \frac{v_y}{r_y}$$

$$\frac{50}{r_x} = \frac{10}{r_x - 20} \qquad 50r_x - 10r_x = 1\,000$$

$$r_x = \frac{1\,000}{40} \qquad r_x = 25 \text{ cm}$$

Utilizando o valor de r_x obtido anteriormente, podemos calcular o módulo da velocidade angular.

$$\omega = \omega_y = \omega_x = \frac{v_x}{r_x}$$

$$\omega = \frac{50}{25} = 2{,}0 \text{ rad/s}$$

Questão 02 – Letra A

Comentário: A correta representação dos vetores velocidade e aceleração para o movimento circular uniformemente acelerado é a representação do ponto (2), pois, nela, o vetor velocidade é tangente à trajetória e o vetor aceleração está corretamente representado. Como o movimento é circular uniformemente acelerado, temos a presença de dois tipos de aceleração, a tangencial e a centrípeta, sendo o sentido da aceleração tangencial igual ao sentido da velocidade e o sentido da aceleração centrípeta para dentro da curva. Logo, a aceleração resultante está em uma direção oblíqua à da velocidade, conforme mostrado na representação do ponto (2).

Questão 03 – Letra A

Comentário: Na resolução desse exercício, iremos considerar que o ponteiro maior do relógio seja o ponteiro dos minutos. Tendo em vista que esse relógio atrasa 10 minutos a cada hora, conclui-se que, em um intervalo de tempo de uma hora real, o ponteiro maior percorre um ângulo de $2\pi(10/12)$ rad. Portanto, a velocidade angular do ponteiro maior do relógio é dada por:

$$\omega = \frac{2\pi\,(10/12)}{3\,600}$$

$$\omega = \frac{\pi}{2\,160} \text{ rad/s}$$

Questão 04 – Letra E

Comentário: Tendo em vista que o móvel parte do repouso e efetua um movimento circular uniforme de período igual a 8 s, conclui-se que, em um intervalo de tempo de 18 s, o móvel efetua duas voltas completas mais um quarto de volta. Sendo assim, o deslocamento angular do móvel foi de $\pi/2$ rad ou 90º. Logo, o módulo do vetor deslocamento do móvel é dado por:

$$|d|^2 = R^2 + R^2 \qquad |d| = \sqrt{R^2 + R^2}$$

$$|d| = R\sqrt{2}$$

Questão 05 – Letra E

Comentário: Nesse exercício, há duas polias, A e B, interligadas por meio de uma correia e não há escorregamento entre as polias e a correia. Dessa forma, a velocidade tangencial das polias possui o mesmo módulo da velocidade tangencial da correia, portanto, as duas polias possuem a mesma velocidade tangencial. Como as polias possuem raios diferentes (o raio da polia A, R, é menor que o raio da polia B, R'), conclui-se que as polias possuem velocidades angulares diferentes. Sendo $R < R'$, e como as polias possuem a mesma velocidade tangencial, conclui-se que a velocidade angular da polia A é maior que a da polia B.
Esse fato pode ser verificado por meio das equações:

$$v_A = v_B \qquad \omega_A R = \omega_B R'$$

$$\omega_A = \omega_B \frac{R'}{R}$$

O termo R'/R é maior que 1, logo, $\omega_A > \omega_B$.

Exercícios Propostos

Questão 02 – Letra A

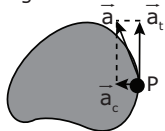
Comentário: Ambas as bicicletas apresentam a mesma velocidade escalar. Desse modo, podemos afirmar que: $v_{pai} = v_{filho} \Rightarrow \omega_{pai}R_{pai} = \omega_{filho}R_{filho}$
Como $R_{pai} = 2R_{filho}$, podemos concluir que:
$\omega_{filho} = 2\omega_{pai} \Rightarrow f_{filho} = 2f_{pai}$
Logo, a alternativa correta é a A.

Questão 04 – Letra B

Comentário: Se o centro do furacão avança a 150 km/h em direção ao norte, temos que o módulo da velocidade da extremidade leste do furacão é $v' = v_f - v_r$, em que v_f é o módulo da velocidade de deslocamento do centro do furacão em relação ao solo e v_r é o módulo da velocidade escalar de rotação da extremidade do furacão em relação ao centro deste. Já o módulo da velocidade da extremidade oeste do furacão é $v'' = v_f + v_r$. Resolvendo qualquer uma das duas equações anteriores, encontramos o módulo da velocidade escalar de rotação do furacão, $v_r = 50$ km/h. Utilizando a relação $v = \omega R$, encontramos o módulo da velocidade angular de rotação da massa gasosa:

$\omega = v/R \Rightarrow \omega = 50/100$
$\omega = 0{,}5$ rad/h

Questão 06 – Letra D

Comentário: A questão aborda o movimento circular não uniforme da pá de um ventilador que está cessando seu movimento. Como essa pá está parando, sobre ela atua uma aceleração tangencial em sentido oposto ao de seu vetor velocidade. Essa aceleração irá fazer com que o módulo da velocidade da pá diminua. Uma vez que a pá continua descrevendo um movimento circular, ela estará submetida a uma aceleração centrípeta. A soma dessas duas componentes da aceleração (tangencial e centrípeta) definirá a direção e o sentido do vetor aceleração da pá no ponto P, conforme mostrado na figura a seguir.

Questão 07 – Letra D

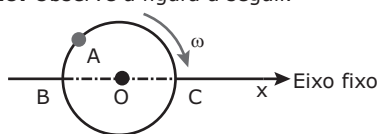
Comentário: A relação entre os raios das engrenagens, apresentada no enunciado da questão, permite que utilizemos a relação entre o raio e o período das engrenagens, $v = 2\pi R/T \Rightarrow T = 2\pi R/v$. As engrenagens possuem a mesma velocidade tangencial, pois elas estão interligadas por suas periferias e não deslizam umas sobre as outras. Assim, o período de cada engrenagem será proporcional ao seu raio. Logo, $T_1 = T_3 < T_2$.

Como a cada ligação de engrenagens pela periferia temos a inversão de sentido do movimento circular, após duas ligações de engrenagens, o sentido de movimento se repete, ou seja, o sentido de movimento da primeira e da terceira engrenagem é o mesmo. Assim, E_1 e E_3 giram no mesmo sentido e com o mesmo período, sendo este menor que o período de E_2.

Questão 09 – Letra E

Comentário: Para que o aluno resolva essa questão, é necessário que ele perceba que a curva descrita pelo líquido é um arco de circunferência de raio 6 cm. A esse arco corresponde um ângulo de 90º (um quarto da circunferência); portanto, seu comprimento será de, aproximadamente, 9,3 cm. O tempo gasto pelo líquido para percorrer esse trajeto corresponde a um quarto do período da engrenagem, cuja frequência é de 0,25 Hz. Como o período é o inverso da frequência, o líquido gastará 1 s para percorrer esse trajeto; assim, sua velocidade média será de 9,3 cm/s ou $9{,}3 \times 10^{-2}$ m/s.

Questão 10 – Letra C

Comentário: Observe a figura a seguir.

De acordo com o enunciado do exercício, a esfera é lançada do ponto B do eixo x em direção ao centro do disco, quando o ponto A do disco passa pelo ponto B do eixo. A partir do instante em que é lançada, a esfera descreve um movimento retilíneo uniforme, e, após 6 s de movimento, a esfera abandona o disco no ponto C do eixo x, no exato instante em que o ponto A do disco passa pelo ponto C do eixo. Ainda de acordo com o enunciado do exercício, o disco gira com velocidade angular constante e o intervalo de tempo de 6 s é maior que o tempo necessário para o disco efetuar uma volta completa e menor que o intervalo de tempo necessário para o disco efetuar duas voltas.

Tendo em vista os dados do enunciado e a figura anterior, podemos concluir que, durante o intervalo de tempo de 6 s, o disco efetuou 1,5 voltas. Logo, o período de rotação do disco é dado por:

$1{,}5T = 6\text{ s} \Rightarrow T = 4\text{ s}$

Questão 13 – Letra A

Comentário: Nesse exercício, há três polias interligadas por uma correia e não há escorregamento entre as polias e a correia. Logo, as três polias possuem velocidades lineares de mesmo módulo, que é igual ao módulo da velocidade linear da correia. A polia 1, R_1 = 6 cm, possui uma frequência de rotação de 0,67 Hz (40 rpm). Portanto, seu período de rotação é dado por:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{0{,}67}$$
$$T = 1{,}5\text{ s}$$

Como as velocidades lineares das polias são iguais, podemos escrever a seguinte igualdade:

$$v_1 = v_3 \qquad \omega_1 R_1 = \omega_3 R_3$$
$$\omega_3 = \omega_1 \frac{R_1}{R_3}$$
$$\omega_3 = \omega_1 \frac{6}{2} \qquad \omega_3 = 3\omega_1$$

De acordo com o resultado anterior, a velocidade angular da polia 3 é três vezes maior que a da polia 1. Como o período de rotação e a velocidade angular são grandezas inversamente proporcionais, $\omega = 2\pi/T$, conclui-se que o período de rotação da polia 3 é três vezes menor que o da polia 1. Logo, o período de rotação da polia 1 é de 0,5 s.

Questão 15

Comentários:

A) De acordo com o enunciado do exercício, o disco gira sem atrito sobre uma mesa e completa 300 voltas em um minuto. Sendo assim, a frequência de rotação do disco é dada por:

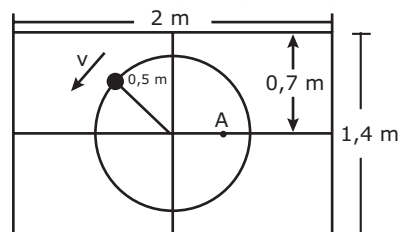
$$f = \frac{300}{60} \qquad f = 5\text{ Hz}$$

Utilizando o resultado anterior, podemos calcular o módulo da velocidade linear do disco, por meio da equação $v = 2\pi rf$. Logo:

$v = 2.3.0{,}5.5$

$\Rightarrow v = 15$ m/s

Observação: Na resolução desse exercício, utilizamos a aproximação π = 3, de acordo com a orientação do enunciado.

B) Do instante em que o fio se rompe no ponto A até o instante em que o disco abandona a mesa, o disco percorre uma distância de 0,70 m. Veja a figura a seguir:

Sendo assim, temos que:

$d = vt \qquad t = d/v$

$t = 0{,}70/15 \qquad t = 0{,}047\text{ s}$

Seção Enem

Questão 01 – Letra C

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 2

Habilidade: 6

Comentário: Para resolver esse exercício, basta observar que a prancha se move de A para B. Logo, as polias da parte superior, 1 e 2, movem-se no sentido anti-horário, e as polias da parte inferior, 3 e 4, movem-se no sentido horário.

Questão 02 – Letra A

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 6

Habilidade: 20

Comentário: O movimento de uma bicicleta se dá por meio do acoplamento entre uma roda dentada dianteira com uma roda dentada traseira, e esse acoplamento é feito por meio de uma corrente, não havendo deslizamento entre as rodas dentadas e a corrente. Sendo assim, conclui-se que as rodas dentadas da bicicleta possuem velocidades lineares de mesmo módulo, sendo este igual ao módulo da velocidade linear da corrente.

Considerando uma pedalada uma volta completa da roda dentada dianteira e observando que as rodas dentadas possuem velocidades lineares de mesmo módulo, podemos escrever a seguinte igualdade:

$$v_d = v_t \quad \omega_d r_d = \omega_t r_t$$

$$\frac{\omega_t}{\omega_d} = \frac{r_d}{r_t}$$

De acordo com a equação anterior, quanto maior for a razão r_d/r_t, maior será a razão do número de voltas da roda traseira por pedalada, ω_t/ω_d. Portanto, a alternativa que representa a situação em que haverá o maior número de voltas por pedalada é a A.

Questão 03 – Letra C

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 6

Habilidade: 20

Comentário: Conforme analisado no exercício anterior, as rodas dentadas traseira e dianteira possuem velocidades lineares de mesmo módulo. Utilizando esse resultado e os dados fornecidos na figura do exercício, temos:

$$v_d = v_t \quad \omega_d r_d = \omega_t r_t$$

$$\frac{\omega_t}{\omega_d} = \frac{r_d}{r_t} \quad \frac{\omega_t}{\omega_d} = \frac{15}{5,0}$$

$$\frac{\omega_t}{\omega_d} = 3,0$$

De acordo com o resultado anterior, a velocidade angular da roda dentada traseira é três vezes maior que a da roda dentada dianteira, ou seja, enquanto a roda dentada dianteira efetua uma volta completa, a roda dentada traseira realiza três voltas completas. Como a roda dentada traseira está acoplada à roda traseira pelo mesmo eixo (ou seja, elas giram de forma conjunta), a distância percorrida pela bicicleta em uma pedalada é, aproximadamente:

$d = 3(2\pi R) \Rightarrow d = 3(2.3.0,40)$

$\Rightarrow d = 7,2$ m

Questão 04 – Letra A

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 1

Habilidade: 3

Comentário: Esse exercício faz algumas afirmações em relação a uma bicicleta de marchas. Vamos analisar cada uma das alternativas separadamente.

I. Correta. A cada marcha de uma bicicleta está associada uma determinada coroa dianteira e uma determinada coroa traseira. Como nessa bicicleta há duas coroas dianteiras e cinco coroas traseiras, a bicicleta possui um total de dez marchas, cinco marchas associadas a uma das coroas dianteiras e cinco marchas associadas à outra coroa dianteira.

II. Incorreta. Quando uma bicicleta encontra-se à alta velocidade, o número de voltas da roda traseira por pedalada é o maior possível. De acordo com o resultado obtido na resolução do exercício 01 dessa seção:

$$\frac{\omega_t}{\omega_d} = \frac{r_d}{r_t}$$

Para que tenhamos o maior número de voltas da roda traseira por pedalada, devemos ter a maior razão possível entre os raios das rodas dentadas dianteira e traseira. Sendo assim, devemos acionar a coroa dianteira de maior raio com a coroa traseira de menor raio.

III. Correta. Em uma subida íngreme, convém utilizarmos uma marcha que minimize a força com a qual devemos acionar os pedais da bicicleta. Para obtermos esse resultado, devemos utilizar uma combinação de coroas dianteira e traseira que possibilite a maior razão possível entre o número de pedaladas por volta. Utilizando o fato de as coroas possuírem velocidades lineares de mesmo módulo, temos que:

$$v_d = v_t \quad \omega_d r_d = \omega_t r_t$$

$$\frac{\omega_d}{\omega_t} = \frac{r_t}{r_d}$$

Portanto, para que tenhamos a maior razão possível entre o número de pedaladas por volta, devemos utilizar a coroa traseira de maior raio e a coroa dianteira de menor raio.

Tendo em vista a análise das afirmações, conclui-se que a alternativa correta é a A.

MÓDULO – A 06

Leis de Newton

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra A

Comentário: Esse exercício aborda uma questão clássica das Leis de Newton para o movimento: como pode um cavalo puxar uma charrete se a força que ele exerce sobre a charrete possui a mesma intensidade da força que a charrete exerce sobre ele? Realmente essas forças possuem módulos iguais, porém o cavalo também empurra o chão para trás e este empurra o cavalo para frente. Se a força para frente que o chão faz sobre o cavalo for maior que a força para trás que a charrete exerce sobre ele, então, o conjunto se moverá para frente. Tendo em vista essa explicação, a alternativa correta é a A.

Questão 02 – Letra A

Comentário: Sobre o caixote, atuam as forças peso P, normal N e força de atrito f_a. A força peso possui direção vertical e sentido para o centro da Terra; logo, nos diagramas desse exercício, a força peso deve estar voltada para baixo. A força normal que atua sobre o caixote é perpendicular à carroceria do caminhão e possui sentido para cima. Já a força de atrito, exercida pela carroceria sobre o caixote possui direção tangente à carroceria e sentido oposto à tendência de movimento do caixote. À medida que o caminhão se move para frente, a tendência de movimento do caixote é a de se mover para trás, pois a componente tangencial da força peso que atua sobre ele o puxa nesse sentido. Como a força de atrito atua em sentido oposto ao da tendência de movimento, temos que essa força atua paralelamente à carroceria, no sentido de subida da rampa. Dessa forma, a alternativa que mostra um diagrama coerente com essas observações é a A.

Questão 03 – Letra C

Comentário: Se existe uma força resultante agindo sobre o corpo, como afirma o enunciado, então, obrigatoriamente, o movimento apresentado pelo objeto deve ser acelerado, de acordo com a 2ª Lei de Newton. A única alternativa que não apresenta essa possibilidade é aquela que menciona um corpo se movendo com velocidade constante e em linha reta. Logo, a alternativa em que não há uma força resultante agindo sobre o corpo é a C.

Questão 04 – Letra B

Comentário: Existe uma interação entre o ímã e a barra de ferro, e essa interação obedece às Leis de Newton. Isso indica que a força que o ímã faz sobre a barra de ferro deve ser igual, em módulo, à força que a barra de ferro faz sobre o ímã. Porém o fato de as forças possuírem módulos iguais não garante que ambos os corpos apresentem a mesma aceleração. Como a massa do ímã é duas vezes menor que a massa da barra de ferro, uma força de mesmo módulo, aplicada em ambos os corpos, provocará no ímã uma aceleração duas vezes maior do que na barra de ferro. Sendo assim, a alternativa correta é a B.

Questão 05 – Letra B

Comentário: Esse é um tipo de questão em que os alunos costumam ter bastante dificuldade. Os alunos costumam utilizar o senso comum de que a intensidade da força exercida sobre o dinamômetro dobra de valor quando duas pessoas exercem forças, de mesma intensidade, sobre as duas extremidades do dinamômetro. Uma boa alternativa didática para resolver esse problema é substituir um dos meninos por uma parede e mostrar que as situações são idênticas, em termos das forças que atuam sobre o dinamômetro, pois, em ambas as situações, o dinamômetro encontra-se em equilíbrio.

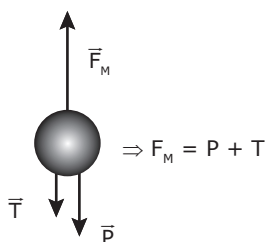
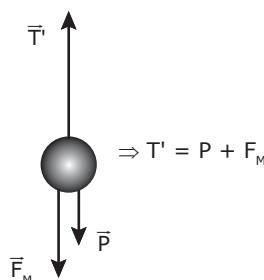
Quando uma única pessoa puxa uma das extremidades de um dinamômetro com uma força de 100 N, o valor da força medida pelo instrumento é de 100 N, considerando que esse esteja em equilíbrio. Logo, na situação representada na figura desse exercício, em que há dois meninos exercendo forças de 100 N sobre as extremidades de um dinamômetro, temos que a leitura do instrumento será de 100 N, pois ele está em equilíbrio.

Exercícios Propostos

Questão 01 – Letra B

Comentário: O balão dirigível desse exercício encontra-se em equilíbrio, pois o balão voa a uma altitude constante, em linha reta e com velocidade de módulo constante. Portanto, a força resultante que atua sobre o balão é nula. Logo, os módulos das forças verticais que atuam sobre o balão, peso (P) e empuxo (E), são iguais, assim como são iguais os módulos das forças horizontais de resistência do ar (R) e força de propulsão dos motores (M). Sendo assim, a alternativa em que essas forças estão mais bem representadas é a B.

Questão 02 – Letra C

Comentário: Inicialmente, vamos representar as forças que atuam sobre as esferas. Sobre a esfera de baixo, temos:

Sobre a esfera de cima, atuam as seguintes forças:

Como as forças de atração magnética, F_M, que atuam sobre as esferas formam um par de ação e reação, temos que seus módulos são iguais. Sendo assim, conclui-se que o módulo da força de tensão no fio de cima é maior do que o módulo da tensão no fio de baixo. Temos também que o módulo da tensão no fio de cima é maior que o módulo do peso do ímã preso a esse fio. Diante da discussão anterior, conclui-se que a alternativa correta é a C.

Questão 05 – Letra C

Comentário: Em um movimento de queda livre, a única força que age sobre o corpo é a força peso, e a única aceleração que atua sobre o corpo é a aceleração da gravidade. Assim, tanto no instante t_1 quanto no instante t_3, a força e a aceleração que atuam sobre a bola são verticais, com sentido para baixo. Somente a velocidade muda de sentido, uma vez que em t_1 a bola estava descendo e em t_3 ela estava subindo.

Dessa forma, o diagrama em que a força resultante, a aceleração e a velocidade estão corretamente representadas nos instantes t_1 e t_3 é o da alternativa C.

Questão 06 – Letra A

Comentário: De acordo com o enunciado da questão, a esfera está em repouso em relação ao vagão. Logo, estando o vagão sujeito a uma aceleração $\vec{a}$ para a direita, em relação ao solo, temos que a esfera também está sujeita à mesma aceleração em relação ao solo. No referencial do solo, atuam sobre a esfera duas forças, seu peso (vertical, para baixo) e a força de tensão (paralela à direção do fio, no sentido da esfera para o teto), exercida pelo fio ao qual ela está presa. Realizando a soma vetorial de tais forças, obtemos uma força resultante horizontal para a direita, conforme era esperado, uma vez que a aceleração que atua sobre a esfera, no referencial do solo, também possui direção horizontal e sentido para a direita.

Então, temos que as forças que atuam na esfera, no referencial do solo, são corretamente representadas no diagrama da alternativa A.

Questão 08 – Letra B

Comentário: Observando o gráfico do exercício, podemos ver que a posição da partícula varia linearmente com o tempo do instante inicial de observação do movimento até o instante τ, parte reta da curva que descreve a variação da posição da partícula em relação ao tempo. Como a posição da partícula varia linearmente com o tempo e como a trajetória da partícula é retilínea, conclui-se que a partícula não está sujeita à aceleração e, consequentemente, a força resultante que atua sobre ela é nula.

Observando o gráfico do enunciado, podemos ver também que, do instante τ em diante, a posição da partícula varia com o quadrado do tempo, parte parabólica da curva que descreve a variação da posição da partícula em relação ao tempo. Dessa forma, podemos concluir que, do instante τ em diante, a partícula está sujeita a uma aceleração constante e, consequentemente, a força resultante que atua sobre a partícula também é constante.

Logo, o gráfico que representa corretamente a relação entre o módulo da força resultante R e o tempo t é o da alternativa B.

Questão 11 – Letra A

Comentário: Durante todo o tempo em que o passarinho gira junto com o irrigador, atuam sobre ele três forças: a força peso, a força normal e a força de atrito estático, que exerce a função de força centrípeta. No instante em que o módulo da velocidade do irrigador torna-se maior que o módulo da velocidade v, para o qual o módulo da força centrípeta é igual à força de atrito estático máximo ($F_{at} = F_c = mv^2/R$), o passarinho perde o contato com o irrigador e deixa de realizar o movimento circular.

Não há nenhuma força que expulsa / arremessa o passarinho do irrigador. Ele simplesmente perde o contato com este, mas mantém o mesmo módulo de velocidade horizontal que possuía antes de perder o contato.

A partir do momento em que o passarinho perde contato com o irrigador, a única força que atua sobre ele é seu próprio peso. Consequentemente, nessa situação, o passarinho está sujeito a uma única aceleração, a aceleração da gravidade.

Diante da discussão anterior, conclui-se que a alternativa correta é a A.

Questão 13 – Letra B

Comentário: Esse exercício aborda questões relativas à Primeira e à Segunda Leis de Newton. Vamos analisar as afirmativas separadamente.

I. Incorreta. No trecho BC, a força aplicada sobre o corpo é constante e diferente de zero. Pela 2ª Lei de Newton, isso implica que uma aceleração constante e não nula atua sobre o corpo. Portanto, o movimento é do tipo variado, não uniforme.

II. Correta. Como consta no enunciado da questão, a velocidade no ponto A é zero. No que diz respeito ao trecho ABC, o gráfico nos mostra que a força que atua sobre o corpo é diferente de zero e atua sempre no mesmo sentido. Pela 2ª Lei de Newton, tal fato implica uma aceleração contínua do objeto, no mesmo sentido da força. Assim, o corpo experimentará, durante todo o trajeto mencionado, um aumento no módulo de sua velocidade.

III. Incorreta. No trecho DE, não há força alguma atuando no corpo. Pela 1ª Lei de Newton, como o objeto estava em movimento, ele continuará em movimento retilíneo e uniforme (M.R.U). Portanto, a velocidade do corpo é constante e não nula.

IV. Correta. Como explicitado, a Lei da Inércia explica o fato de o corpo continuar com o módulo da velocidade constante após a força atuante tornar-se nula.

V. Incorreta. No trecho AB, a força atuante sobre o corpo não é constante, portanto, de acordo com a 2ª Lei de Newton, a aceleração envolvida também não será constante – ela segue aumentando. No movimento uniformemente variado (M.U.V.), a aceleração possui módulo constante e diferente de zero. Portanto, tal afirmação é completamente incorreta.

Questão 16 – Letra A

Comentário: Esta questão explora a 3ª Lei de Newton. Vamos analisar cada uma das proposições separadamente.

I. Correta. A força em questão é a de atração gravitacional, uma força de campo. A força que a Terra exerce sobre a Lua e a força que a Lua exerce sobre a Terra formam um par ação-reação. Portanto, pela 3ª Lei de Newton, elas possuem o mesmo módulo ou intensidade, termo usado na questão.

II. Correta. A força que o ímã exerce sobre o prego e a força que o prego exerce sobre o ímã formam um par ação-reação. Portanto, pela 3ª Lei de Newton, essas forças, além de atuarem em corpos distintos, possuem o mesmo módulo (intensidade) e direção, porém sentidos contrários.

III. Incorreta. A força que permite um cavalo puxar uma carroça é a força que ele exerce sobre a carroça, e não a sua reação – que atua no cavalo e é exercida pela carroça.

Diante da discussão anterior, conclui-se que a alternativa correta é a A.

Seção Enem

Questão 01 – Letra C

Eixo cognitivo: I

Competência de área: 6

Habilidade: 20

Comentário: O objetivo da questão é que identifiquemos a situação que está diretamente relacionada à 3ª Lei de Newton, Lei da Ação e Reação. Portanto, devemos identificar a alternativa em que ocorra uma situação na qual o atleta tire vantagem da correta aplicação da 3ª Lei de Newton. A alternativa C atende a esse requisito, uma vez que quanto mais água um nadador puxar para trás maior será a força que esse exerce sobre a água e, consequentemente, maior será a força que a água exercerá sobre ele, fazendo com que o nadador receba maior propulsão.

Questão 02 – Letra C

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 6

Habilidade: 20

Comentário: Vamos analisar as forças que atuam no bloco A nas duas situações. Essas forças são: o peso P, a normal N e a tensão T. O peso P e a normal N anulam-se mutuamente e, portanto, a força resultante que atua no bloco A é a tensão. Na situação da figura 1, o valor dessa tensão é dado por:

$$T_1 = ma_1 \qquad P = 2ma_1$$
$$P_B - T_1 = ma_1$$
$$mg = 2ma_1 \qquad a_1 = \frac{g}{2} = 5\ m/s^2$$
$$T_1 = \frac{mg}{2} = 5\ N$$

Na situação da figura 2, os valores da tensão e da aceleração são:

$T_2 = F = 10\ N$

$\Rightarrow 10\ N = ma_2 \Rightarrow a_2 = 10\ m/s^2$

Da análise anterior, conclui-se que a alternativa correta é a C.

MÓDULO – B 05

1ª Lei da Termodinâmica

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra B

Comentário: O sistema recebe uma quantidade de calor Q = +200 J e, ao mesmo tempo, cede uma quantidade de energia na forma de trabalho W = +10 cal. Os sinais positivos para o calor cedido e para o trabalho realizado pelo sistema são coerentes com a equação da 1ª Lei da Termodinâmica, que vamos usar para calcular a variação da energia interna do sistema: $\Delta U = Q - W$. Convertendo o trabalho para a unidade joule (W = +41,86 J) e substituindo Q e W na equação da 1ª Lei, obtemos:

$\Delta U = +200 - (+41,86) = +158,14\ J$

Questão 02 – Letra C

Comentário: O trabalho realizado pelo gás em cada um dos três processos é numericamente igual à área sob a curva dos respectivos processos no gráfico p x V. Dessa forma, $W_1 > W_2 > W_3$. Todos esses trabalhos são positivos, pois os três processos são expansões. Como os estados iniciais e finais são coincidentes nos três processos, as energias internas inicial e final dos três processos são iguais. Logo, ΔU_1, ΔU_2 e ΔU_3 são iguais. De acordo com a 1ª Lei da Termodinâmica, o calor é dado por $Q = \Delta U + W$. Sendo ΔU constante, o calor é maior no processo em que o trabalho é maior. Portanto, $Q_1 > Q_2 > Q_3$.

Embora o exercício não explore o sentido do fluxo de calor, este é da vizinhança para o gás (sistema), pois $Q > 0$, uma vez que $W > 0$ e $\Delta U > 0$. A variação da energia interna é positiva porque o produto pV aumenta nos três processos, indicando que a temperatura aumenta.

Questão 03 – Letra E

Comentário:

I. Verdadeiro. O gás realiza trabalho positivo W_{BC} na expansão BC, sofre um trabalho negativo W_{AB} na compressão AB e não realiza e nem sofre trabalho no processo isovolumétrico CA. Como a área sob a expansão BC é maior que a área sob a compressão AB, o trabalho W_{BC} é maior que o trabalho W_{AB}. Por isso, o trabalho total durante o ciclo ($W_T = W_{BC} + W_{AB}$) é positivo.

II. Falso. A transformação AB é uma compressão isobárica, e não isotérmica. Além disso, o gás libera calor para a vizinhança. Como o volume diminui, a temperatura absoluta diminui proporcionalmente a diminuição do volume. Como a energia interna é proporcional à temperatura absoluta, concluímos que há redução na energia interna durante a compressão AB. Isso ocorre porque, mesmo recebendo energia na forma do trabalho W_{AB}, o gás libera uma quantidade de calor Q_{AB} maior que o trabalho.

III. Verdadeiro. A transformação CA é um resfriamento, pois, como o volume permanece constante, a temperatura absoluta diminui proporcionalmente à redução da pressão. Como a energia interna é proporcional à temperatura absoluta, concluímos que há redução na energia interna durante a transformação CA. Lembrando que não há trabalho nesse processo, a única forma de o gás se resfriar é cedendo uma quantidade de calor Q_{CA} para a vizinhança.

Questão 04 – Letra D

Comentário: O ar se expande rapidamente, de modo que o processo pode ser considerado adiabático. De acordo com a 1ª Lei da Termodinâmica ($\Delta U = Q - W$), sendo $Q = 0$ e sendo W positivo (trabalho de expansão), ΔU é negativo. Portanto, a energia interna do gás diminui e a temperatura também. De acordo com a equação de estado de um gás ideal, $p = nRT/V$, como T diminui e V aumenta, a pressão P deve diminuir. Portanto, a alternativa correta é a D.

Questão 05 – V V F F V

Comentário:

00. Verdadeiro. Podemos calcular a variação de temperatura do gás aplicando a equação de gás ideal para os estados inicial e final do gás:

$PV_1 = nRT_1$ e $PV_2 = nRT_2$

Subtraindo essas equações membro a membro e explicitando a variação de temperatura, obtemos:

$$T = \frac{P\ V}{nR}$$

A pressão do gás é $P = 1{,}0 \times 10^5$ N/m², a constante universal é $R = 8{,}31$ J/mol e a quantidade de gás (em mols) é:

$$n = \frac{m}{n} = \frac{20{,}0\,g}{4{,}00\,g/mol} = 5{,}00\,mols$$

A variação de volume é $\Delta V = A.\Delta x = 0{,}100\ m^2.(8{,}31\times10^{-3}$ m/s.25 s). Substituindo esses valores na expressão de ΔT, obtemos:

$\Delta T = 50$ K

01. Verdadeiro. Os calores específicos molares a pressão constante e a volume constante relacionam-se por $R = C_P - C_V$. Como $C_V = 1{,}5R$, concluímos que $C_P = 2{,}5R$.

02. Falso. O calor Q é dado pela seguinte expressão:

$Q = nC_P\Delta T = 5{,}00.2{,}5R.50 = 625R$

03. Falso. A variação da energia interna do gás é dada pela 1ª Lei da Termodinâmica: $\Delta U = Q - W$. Já sabemos que o calor é $Q = 625$ R (afirmativa III). O trabalho W realizado pelo gás é dado por:

$W = P\Delta V = nR\Delta T = 5{,}00.R.50 = 250R$

Logo, $\Delta U = 625R - 250R = 375R$.

04. Verdadeiro. Conforme calculado antes, o trabalho realizado pelo gás é $W = 250R$.

Exercícios Propostos

Questão 01 – Letra C

Comentário: Professor, antes de resolver essa questão, explique que, na maioria dos livros de física quantifica, a variação da energia interna de um sistema é definida como sendo a diferença entre o calor Q e o trabalho W trocados entre o sistema e a vizinhança (1ª Lei da Termodinâmica: $\Delta U = Q - W$). Nesse caso, $Q > 0$ e $W < 0$ quando essas energias são fornecidas para o sistema e $Q < 0$ e $W > 0$ quando essas energias são cedidas pelo sistema. A 1ª Lei da Termodinâmica também pode ser escrita na forma $\Delta U = -Q - W$, desde que os sinais para o calor Q e o trabalho W sejam coerentes. Por exemplo, se um sistema ganhar energia na forma de calor e de trabalho, a energia interna deverá aumentar, de modo que a variação de energia interna ΔU seja positiva. Para isso ocorrer, os sinais de Q e W deverão ser negativos. Assim, quando esses sinais forem multiplicados pelos sinais negativos pré-existentes na equação da 1ª Lei, o resultado será a soma de duas parcelas positivas, implicando o duplo efeito de aumento na energia interna do sistema. Obviamente, quando o sistema perder energia na forma de calor e trabalho, os sinais dessas energias deverão ser positivos. Portanto, se, numa transformação, o sistema absorve 6 J de calor e realiza um trabalho de 8 J (trabalho cedido pelo sistema), deveremos ter $Q = -6$ J e $W = +8$ J. Professor, continue a discussão da questão mostrando que, de acordo com a equação da 1ª Lei, a energia interna será:

$\Delta U = -(-6) - (+8) = -2$ J

Comente que esse resultado é coerente, pois, se um sistema ganha 6 J de calor, mas perde 8 J na forma de trabalho, a variação no saldo de energia interna do sistema deve realmente ser negativa.

Questão 02 – Letra C

I. Falso. A transformação AB é um processo isovolumétrico e, por isso, não há trabalho.

II. Falso. Embora a transformação BC seja isotérmica, o gás recebe calor nesse processo. Na verdade, como a temperatura do gás é constante, a energia interna do gás não varia. Como há liberação de energia na forma do trabalho W_{AB} realizado na expansão BC, o gás deve receber a mesma quantidade de energia na forma do calor Q_{AB}. Assim, a perda de energia na forma de trabalho é compensada pelo ganho de calor, de modo que a energia interna do gás não varia.

III. Verdadeiro. Na transformação CA, há um trabalho W_{CA} de compressão. O gás recebe essa energia da vizinhança. Professor, comente que a temperatura do gás em C é menor que a temperatura em A, implicando redução na energia interna do gás. Embora receba o trabalho W_{CA} da vizinhança, o gás libera uma quantidade de calor Q_{CA} para a vizinhança maior que o trabalho. Por isso, o gás se resfria.

Questão 03 – Letra C

No processo acb, os valores do calor Q = +100 cal e do trabalho W = +40 cal, substituídos na equação da 1ª Lei da Termodinâmica, levam à determinação da variação de energia interna:

$\Delta U = Q - W = +100 \text{ cal} - (+40 \text{ cal}) = +60 \text{ cal}$

No processo adb, a variação da energia interna é a mesma do processo acb, pois o estado inicial "a" e o estado final "b" são comuns aos dois processos. Logo, para o processo acb, podemos escrever:

$\Delta U = Q - W \quad \Rightarrow \quad +60 = +72 \text{ cal} - W \quad \Rightarrow \quad W = +12 \text{ cal}$

Questão 04 – Letra A

Comentário: Em uma expansão isobárica, o produto PV aumenta de forma que a temperatura do gás aumenta. O trabalho é realizado pelo gás, de forma que $W_{gás} > 0$. Por outro lado, o trabalho realizado pela atmosfera sobre o gás é negativo, pois a atmosfera é comprimida (o volume do ar na sala onde o sistema se acha fica menor depois da expansão do gás, de forma que ΔV da sala é negativo). Por isso, do ponto de vista da vizinhança, $W_{atm} < 0$. Esse trabalho é dado por:

$W_{atm} = p\Delta V = 10^5(-10 \times 10^{-4}.5,0 \times 10^{-2}) = -5,0 \text{ J}$

Questão 05 – Letra B

As variações de energia interna do gás no processo isocórico AC e no processo adiabático AB são iguais, pois as variações de temperatura são iguais nesses dois processos. Assim, como a variação da energia interna no processo AC é $\Delta U_{AC} = -40$ J, então, no processo AB, temos $\Delta U_{AB} = -40,0$ J. Como não há troca de calor no processo AB, concluímos que, de acordo com a equação da 1ª Lei da Termodinâmica ($\Delta U = Q - W$), que a variação de energia interna é igual ao recíproco do trabalho. Assim, $W_{AB} = +40,0$ J. Professor, depois de concluir essa questão, comente que $\Delta U = Q$ no processo AC, pois não há trabalho no processo AC. Assim, de acordo com a equação da 1ª Lei, temos $Q_{AC} = -40,0$ J.

Questão 07 – Letra D

Comentário: No ciclo, o trabalho e o calor líquido são iguais, $\Delta U = 0$. O trabalho líquido é negativo, pois o módulo do trabalho negativo na compressão CA é maior do que o módulo do trabalho positivo na expansão AB. Assim, concluímos que o calor líquido também é negativo, ou seja, há uma liberação líquida de calor no ciclo (essas são características de qualquer ciclo percorrido no sentido anti-horário no diagrama p x V; quando o ciclo é no sentido horário, o calor e o trabalho são igualmente positivos). Portanto, o calor absorvido, mencionado na questão, refere-se a uma parte do ciclo, e não ao ciclo completo. Esse calor é absorvido na sequência ABC, pois, nesse caso, temos W > 0 (trabalho de expansão) e $\Delta U > 0$ (note que pV no estado C é maior do que no estado A). Para determinarmos o calor Q, vamos usar a 1ª Lei da Termodinâmica: $Q = \Delta U + W$. O trabalho é W = +pV (área sob o processo ABC). Como a energia interna é dada por U = 3pV/2, a variação de energia interna entre os estado C e A vale:

$\Delta U = U_C - U_A = 3.(4pV - pV)/2 = 9pV/2$

Somando W e ΔU, obtemos Q = 11pV/2.

Questão 08 – Letra C

I. Falso. As variações de energia interna do gás no processo isobárico 2 e no processo isocórico 4 são iguais, pois as variações de temperaturas são iguais nos dois processos.

II. Falso. O trabalho na expansão 2 é maior que o trabalho no processo isocórico 3, pois o trabalho no processo 2 é positivo, enquanto o trabalho é nulo no processo 3.

III. Verdadeiro. A variação da energia interna no processo 2 é maior que no processo 3, pois, nos dois processos, a temperatura inicial T_1 é a mesma, mas a temperatura final T_3 no processo 2 é maior que a temperatura final T_2 no processo 3.

IV. Verdadeiro. No processo isocórico 4, o trabalho (W) é zero. Por isso, de acordo com a 1ª Lei da Termodinâmica ($\Delta U = Q - W$), a variação da energia interna é igual ao calor trocado entre o gás e o meio.

Questão 09 – Letra A

Comentário: Em um processo isovolumétrico, o trabalho realizado pelo gás é zero. Então, de acordo com a 1ª Lei da Termodinâmica, o calor deve ser igual à variação da energia interna ($Q = \Delta U$). Usando a definição de calor $Q = n.c_v.\Delta T$ na 1ª Lei, obtemos $c_v = \Delta U/n\Delta T$. Nessa expressão, n é a quantidade de gás, em mols, c_v é o calor específico molar a volume constante, e ΔT é a variação de temperatura. Substituindo os dados do problema, obtemos:

$c_v = (1\,000 - 500)/1(200 - 100) = 5$ cal/mol.K

Questão 10 – Letra B

Comentário: Conforme discutido anteriormente (Exercício Proposto 07), a área dentro do ciclo no diagrama p x V é numericamente igual ao calor e ao trabalho líquido em um ciclo. Quando o ciclo é percorrido no sentido horário, esses valores são positivos. De acordo com o gráfico, Q = W = +600.J (área do retângulo interno ao ciclo). A variação de energia interna em qualquer ciclo é zero, pois o estado final é igual ao inicial.

Questão 11 – Letra A

Comentário: Vamos analisar as alternativas separadamente.

A) Correta. Em uma compressão, o trabalho é realizado sobre o gás, de forma que $W < 0$. Como a compressão é isotérmica, a energia interna permanece constante, e $\Delta U = 0$. De acordo com a 1ª Lei da Termodinâmica, $Q = \Delta U + W$. Como a primeira parcela no lado direito da equação é zero e a outra é negativa, concluímos que o calor Q é negativo, ou seja, o gás cede calor para a vizinhança. Outra maneira de resolver o problema é pensar que se o gás é comprimido, ele recebe energia na forma de trabalho. Como a energia interna do gás não aumenta (pois a temperatura é constante), o gás cede uma quantidade de calor exatamente igual à quantidade de energia recebida na forma de trabalho.

B) Incorreta. No aquecimento a volume constante, a pressão aumenta, de forma que o produto pV cresce, indicando um aumento na temperatura do gás ($T = pV/nR$). Logo, a energia interna também aumenta.

C) Incorreta. Em uma expansão, o trabalho é realizado pelo gás, $W > 0$. Como o processo é adiabático, temos $Q = 0$. De acordo com a 1ª Lei, $\Delta U = -W$, de forma que ΔU é negativo (pois W é positivo). Isso significa que a energia interna do gás diminui. Logo, a temperatura também diminui. Outra forma de ver o problema é simplesmente pensar que, se o gás não recebe calor do ambiente, então, ele usa a sua própria energia interna para realizar o trabalho de expansão e, portanto, sua temperatura diminui.

D) Incorreta. Em uma expansão isobárica, o produto pV torna-se maior, indicando um aumento da temperatura.

E) Incorreta. Em um ciclo, o trabalho realizado pelo gás é numericamente igual à área dentro do ciclo no diagrama p x V. Portanto, o trabalho não é zero em um ciclo. Já a variação da energia interna vale zero, pois, sendo uma função de estado, a energia interna final é igual à inicial.

Questão 12 – Letra C

Comentário: Em um processo adiabático, $Q = 0$, de modo que a variação da energia interna é igual ao recíproco do calor: $\Delta U = -W$. Numa expansão adiabática, $W > 0$, de modo que a variação da energia interna é negativa, implicando redução de temperatura. Obviamente, a pressão do gás diminui na expansão adiabática, pois a temperatura e o volume do gás diminuem.

Questão 13 – Letra B

Comentário: Primeiro, vamos calcular a pressão final do gás por meio da Lei da Transformação Adiabática de um gás ideal PV^{γ} = constante. Substituindo os dados do problema, temos:

$P_2.4,0^2 = 2,0.2,0^2 \Rightarrow P_2 = 0,50$ atm

Agora, podemos determinar a temperatura final usando a equação de estado de um gás ideal:

$P_2V_2/T_2 = P_1V_1/T_1 \Rightarrow 0,50.4,0/T_2 = 2,0.2,0/294 \Rightarrow$
$T_2 = 147$ K $= -126$ °C

Questão 14 – Letra A

Comentário: Em uma expansão livre, não há resistência ao movimento do gás, de forma que $W = 0$. Se essa expansão também for adiabática, $Q = 0$. Logo, de acordo com a 1ª Lei da Termodinâmica, não há variação de energia interna do gás, pois o gás não troca calor nem trabalho com a sua vizinhança.

Questão 16

Comentário:

A) Como o processo AB é isovolumétrico, temos $W = 0$.

B) A temperatura inicial pode ser determinada por meio da equação de estado de um gás ideal:

$T_A = p_AV_A/nR = p_0V_0/nR = (150.8,3)/(0,5.8,3) = 300$ K

No processo isovolumétrico AB, como a pressão triplicou, concluímos que a temperatura absoluta também triplicou. Logo, $T_B = 3T_A = 900$ K. Para determinarmos a temperatura T_C, é melhor pensarmos no processo isobárico CA, que mostra uma compressão isobárica, na qual o volume é reduzido à metade. Logo, $T_C = 2T_A = 600$ K.

C) O calor absorvido pelo gás no processo AB é dado por $Q = nc_v\Delta T$. Substituindo os dados do problema, encontramos $Q = 0,5.10,0.(900 - 300) = 3,0 \times 10^3$ J. O calor no processo CA, na verdade, foi cedido pelo gás. O seu valor é dado por $Q = nc_p\Delta T$. Substituindo os dados do problema, obtemos $Q = 0,5.15,0.(300 - 600) = -2,25 \times 10^3$ J.

Questão 17

Comentário:

A) Para determinarmos o valor da pressão final, podemos usar a Lei da Transformação Adiabática (PV^{γ} = constante):

$P_B.16^{5/3} = 8.2^{5/3} \Rightarrow P_B = 8.(1/8)^{5/3} = 0,25$ atm

B) Para determinarmos a temperatura final, podemos usar a equação de estado de um gás ideal:

$P_BV_B/T_B = P_AV_A/T_A \Rightarrow T_B = 0,25.16.400/(8.2) = 100$ K

Seção Enem

Questão 01 – Letra A

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 3

Habilidade: 10

Comentário: Devido à maior altitude das montanhas, à medida que o ar sobe pela encosta, a pressão atmosférica torna-se menor, causando uma expansão do ar. Como o movimento do ar é muito rápido, o processo pode ser considerado adiabático. Por isso, a expansão gera um resfriamento do ar. Essa frente fria provoca chuvas, de forma que um ar mais seco desce pela outra encosta. Sendo seco (higroscópico), esse ar absorve umidade do solo e da vegetação, causando a desertificação da região do outro lado da montanha.

Questão 02 – Letra B

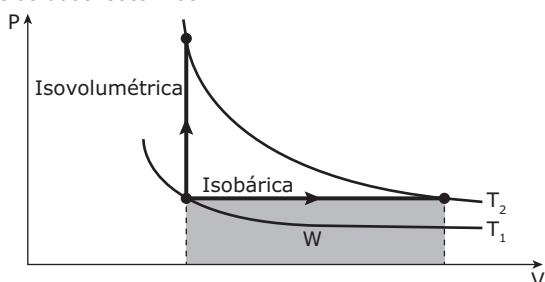
Eixo cognitivo: II

Competência de área: 6

Habilidade: 21

Comentário: Nesse exercício, a primeira transformação sofrida pelo ar foi isobárica, enquanto a segunda foi isovolumétrica. Como a variação de temperatura foi igual nas duas transformações, concluímos que a energia interna do ar aumentou a mesma quantidade nos dois casos. Porém, na primeira transformação sofrida pelo ar, o gás realizou um trabalho de expansão. Na segunda transformação, não houve realização de trabalho, pois não houve deslocamento do êmbolo. Dessa forma, o ar recebeu mais calor na transformação isobárica, já que o calor recebido pelo gás, nessa transformação, foi utilizado tanto para aumentar a energia interna do gás quanto para realizar o trabalho de elevação do êmbolo.

Podemos imaginar valores para facilitar a compreensão desse problema. Por exemplo, imagine que a elevação da energia interna do ar nos dois casos tenha sido ΔU = 1 000 J e que o trabalho de expansão do ar tenha sido W = 200 J. Isso quer dizer que o ar, na transformação isobárica, recebeu um calor Q = 1 200 J, dos quais 1 000 J foram usados para elevar a energia interna e 200 J foram despendidos para erguer o êmbolo. Na transformação isovolumétrica, o calor foi apenas Q = 1 000 J, sendo esse valor totalmente utilizado para o ar ter a sua energia interna aumentada.

O gráfico da pressão *versus* o volume mostrado a seguir também deve ser apresentado na resolução dessa questão, pois ele enriquece muito a discussão do problema. Observe que, tanto no processo isobárico quanto no processo isovolumétrico, as variações de temperatura do ar foram iguais e, portanto, as variações de energia interna do ar também foram iguais. Contudo, como já explicamos, o calor recebido pelo ar no processo isobárico foi maior porque o ar, nesse caso, realizou um trabalho de expansão. O valor desse trabalho é representado pela área abaixo da curva do processo isobárico, indicado pela linha horizontal que liga as duas isotermas de temperaturas inicial, T_1, e final T_2. No caso do processo isovolumétrico, note que não existe área sob a curva do processo, que está indicado pela linha vertical que une as duas isotermas.

MÓDULO – B 06

2ª Lei da Termodinâmica

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra B

Comentário: Nessa questão, a máquina recebe um calor de 800 J e rejeita 200 J para o ambiente. Isso significa que 600 J são convertidos na forma de trabalho. O rendimento de uma máquina térmica é definido pelo quociente entre o trabalho produzido pela máquina e o calor fornecido a ela. Portanto, o rendimento da máquina dessa questão é η = 600/800 = 0,75 (75%). Caso essa máquina cedesse menos calor para o ambiente, o rendimento seria ainda maior que esse.

Questão 02 – Letra D

Comentário: Professor, use o gráfico dessa questão, associado à Figura 3 no texto do caderno principal, para explicar os 4 movimentos de subida / descida do êmbolo de um motor a combustão interna (ciclo Otto): 1º tempo (admissão OA), 2º tempo (compressão AD), 3º tempo (expansão CB) e 4º tempo (descarga AO). No processo AO, a válvula de admissão acha-se aberta, de modo que a mistura ar / combustível entra no motor. Depois, na compressão AD, essa mistura é comprimida adiabaticamente. O processo isovolumétrico DC corresponde à absorção de calor pelo motor. Esse calor decorre da explosão do combustível, que é induzida pela faísca elétrica que a vela produz dentro do motor. Essa faísca ocorre no ponto D. Em seguida, na expansão CB, os gases de combustão são expandidos adiabaticamente. Esse é o único tempo de força do motor. Nos outros tempos, o motor se move por inércia. No ponto B, a válvula de escape é aberta. No processo BA, o motor libera calor para a fonte fria. O processo AO corresponde ao escapamento dos gases de combustão, mas, desde o início do processo BA, os gases de combustão começam a sair do motor.

Questão 03 – Letra A

Comentário: Essa questão envolve o cálculo do rendimento de uma máquina térmica que opera segundo o Ciclo de Carnot.

O rendimento dessa máquina pode ser calculado por:

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{800}{4\ 000} = 0{,}20$$

Como a máquina opera segundo o Ciclo de Carnot, o rendimento pode ser calculado por:

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \text{ ou } \eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}.$$

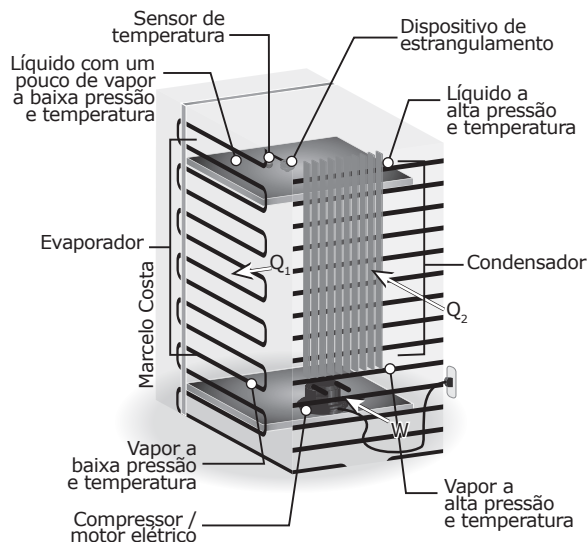
$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \Rightarrow 0{,}2 = 1 - \frac{Q_2}{4\ 000} \Rightarrow 800 = 4\ 000 - Q_2 \Rightarrow$$

$$Q_2 = 3\ 200 \text{ J}$$

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow 0{,}2 = 1 - \frac{300}{T_1} \Rightarrow 0{,}2.T_1 = T_1 - 300$$

$$0{,}8.T_1 = 300 \Rightarrow T_1 = 375 \text{ K}$$

Questão 04 – Letra E

Comentário: De acordo com os dados fornecidos, o refrigerador dessa questão retira, por ciclo, um calor Q_1 = 90 J da fonte fria (o interior da geladeira) e rejeita um calor Q_2 = 100 J para a fonte quente (o meio ambiente). Portanto, um trabalho W = 10 J é requerido para fazer o refrigerador funcionar. Esse valor é a diferença entre os calores Q_2 e Q_1. A eficiência β do refrigerador é definida pelo quociente entre o calor retirado da geladeira e o trabalho fornecido. Portanto, nessa questão, $\beta = Q_1 / W = 90/10 = 9$. Professor, comente que esse é um valor muito elevado para ser a eficiência de um refrigerador real. Na prática, β é um valor entre 2 e 3. Se houver tempo, use a figura seguinte para mostrar os 4 componentes básicos de uma geladeira: o evaporador (uma serpentina interna onde um fluido circula recebendo o calor Q_1, pois o fluido está mais frio que o interior da geladeira), o condensador (uma serpentina externa onde o fluido circula cedendo o calor Q_2, pois o fluido está mais quente que o meio ambiente), o compressor (onde o fluido recebe um trabalho W de compressão, aquecendo-se) e um dispositivo de estrangulamento (onde o fluido se expande, resfriando-se).

Questão 05 – Letra B

Comentário: Trata-se de um problema de solução simples, porém, se devidamente explorado na sala de aula, pode esclarecer aspectos importantíssimos concernentes ao funcionamento de máquinas térmicas.

O rendimento real dessa máquina é dado por $R = W/Q_1$. Portanto, R = 200/1 000 = 20%. Porém, caso essa máquina passasse a operar segundo o Ciclo de Carnot, entre as mesmas fontes, seu rendimento seria $R_C = 1 - T_2/T_1$. A temperatura da fonte quente, T_1, é de 327 °C = 600 K, e a da fonte fria, T_2, 27 °C = 300 K. Assim, R_C = 1 – 300/600 = 50%. Logo, a alternativa correta é a B.

Exercícios Propostos

Questão 02 – Letra D

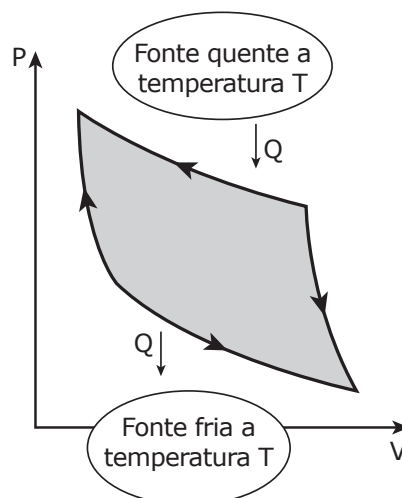
Comentário: O trabalho realizado pelo motor do carro é igual à variação da energia cinética deste, $W = 500 \times 10^2/2 = 2{,}5 \times 10^4$ J. Esse trabalho corresponde a 90% da energia recebida pelo motor elétrico. Portanto, o valor da energia recebida por esse motor é $E = W/0{,}90 = 2{,}8 \times 10^4$ J. O calor rejeitado pelo motor equivale a 10% desse valor. Portanto, o calor perdido é $0{,}10.2{,}8 \times 10^4 = 2{,}8 \times 10^3$ J. No caso do motor de combustão, W equivale a 25% do calor que o motor recebe de uma fonte quente. Portanto, esse calor é $Q = W/0{,}25 = 1{,}0 \times 10^5$ J. O motor a combustão rejeita 75% desse calor. Portanto, o calor perdido por esse motor equivale a $0{,}75.1{,}0 \times 10^5 = 7{,}5 \times 10^4$ J. Da discussão anterior, conclui-se que a alternativa correta é a D.

Questão 05 – Letra C

Comentário: O rendimento de um motor é a razão entre o trabalho W produzido pela máquina e o calor Q_1 fornecido para a máquina: $\eta = W/Q_1$. Nessa questão, Q_1 = 1200 J e W = 400 J, pois o motor rejeita um calor Q_2 = 800 J para a fonte fria. Assim, η = 400/1 200 = 0,333 (33,3%).

Questão 06 – Letra B

I. Verdadeiro. Todo ciclo de Carnot é constituído de duas transformações isotérmicas (processos em que a máquina troca calor com as fontes de calor), alternadas por duas transformações adiabáticas.

II. Verdadeiro. O ciclo descrito nessa afirmativa corresponde ao ciclo de Carnot clássico de um motor a gás (gráfico pressão *versus* volume a seguir). Parte do calor Q_1 fornecido pela fonte quente para o motor se converte em trabalho W (área do ciclo), enquanto o restante Q_2 desse calor é perdido para a fonte fria.

III. Falso. O rendimento de um motor de Carnot é dado por $\eta = 1 - T_f/T_q$, sendo T_f e T_q as temperaturas absolutas das fontes de calor. No caso dessa questão, T_f = 70 + 273 = 343 K e T_q = −40+273 = 233 K. Substituindo esses valores na equação do rendimento, obtemos η = 1 − 233/343 = 0,32 (32%).

IV. Falso. A cada ciclo, para Q_q = 1 000 J, o trabalho é 32% desse valor. Logo, o calor Q_f rejeitado é 68% de Q_q. Portanto, Q_f = 680 J.

Questão 07 – Letra C

Comentário: Primeiramente, vamos calcular o rendimento de um motor de Carnot que opere entre essas mesmas temperaturas. Esse rendimento é η = 1 – 300/1 200 = 0,75. O rendimento do motor real equivale a 40% desse valor, ou seja, o rendimento do motor real é de 30%. A potência gerada no motor é, portanto, 30% da taxa de calor que a fonte quente fornece ao motor, $4{,}0 \times 10^4$ J/s (40 kW). Assim, a potência do motor é de 0,30.40 kW = 12 kW.

Questão 08 – Letra A

Comentário: O rendimento do motor dessa questão é $\eta = W/Q_1$ = 10/40 = 0,25. Se esse motor operasse no ciclo de Carnot, o rendimento de 25% também deveria obedecer à seguinte relação $\eta = 1 - T_1/T_2$. Substituindo a temperatura T_2 por 300 K (que é a temperatura de 27 °C da fonte fria) e η por 0,25, obtemos a temperatura da fonte quente T_1 = 400 K. Essa temperatura, convertida para a escala Celsius, é igual a 127 °C.

Questão 09 – Letra D

Comentário: No processo isotérmico AB, o motor recebe o calor Q_1 da fonte quente, que se encontra na temperatura T_1. O fluido do motor acha-se praticamente na temperatura T_1, que é infinitesimalmente menor que esse valor. No processo isotérmico CD, o motor rejeita o calor Q_2 para a fonte fria, que se acha na temperatura T_2. O fluido do motor acha-se praticamente na temperatura T_2, que é infinitesimalmente maior que esse valor. Os outros dois processos, BC e DA, são adiabáticos. Neles, o fluido do motor muda a sua temperatura de T_1 para T_2 e vice-versa.

Questão 10 – Soma = 13

Comentário: Vamos analisar as afirmativas separadamente.

01. Verdadeira. A 1ª Lei da Termodinâmica expressa a conservação da energia em sistemas térmicos.

02. Falsa. De fato, não há fluxo líquido de calor entre corpos na mesma temperatura. Porém esse fato não é devido à conservação da energia (1ª Lei). Se o calor fluísse espontaneamente de um corpo a 20 ºC para outro a 20 ºC, a energia seria conservada, pois a energia que um corpo cederia, o outro receberia. A impossibilidade de isso ocorrer tem a ver com a 2ª Lei, e não com a 1ª Lei da Termodinâmica.

04. Verdadeira. A 2ª Lei da Termodinâmica trata da impossibilidade de existência de certos processos, mesmo que esses respeitem a 1ª Lei da Termodinâmica. A transferência de calor, espontânea, de um corpo frio para um corpo quente é um dos processos proibidos pela 2ª Lei.

08. Verdadeira. De acordo com a 2ª Lei, uma máquina térmica que opera em ciclos não pode converter todo o calor recebido em trabalho útil.

16. Falsa. A 2ª Lei tem a ver com a análise dos processos reversíveis e não reversíveis. Um processo reversível é uma transformação ideal, que, se invertida, não deixa pistas de que o processo possa ter ocorrido. Na natureza, os processos são irreversíveis. Se os gases, depois de misturados, retomassem a condição em que os gases estão separados, o processo de mistura teria sido revertido sem deixar vestígios. Isso implicaria um processo reversível, transformação que, na prática, não existe.

Questão 12

Comentário: O calor que deve ser retirado do refrigerador é igual ao calor necessário para fundir m = 200 kg de gelo a 0 ºC. Esse calor é dado por Q = mL, em que L = 80 cal/g é o calor latente de fusão do gelo. Assim, substituindo a massa do gelo (em gramas) nessa expressão, obtemos $Q = 200 \times 10^3.80 = 1,6 \times 10^7$ cal. O trabalho que o refrigerador deverá consumir para retirar esse calor é dado por $W = Q/\beta$, sendo β o coeficiente de eficácia do refrigerador. De acordo com o problema, $\beta = \beta_C/7$, em que o numerador é o coeficiente de eficácia do Ciclo de Carnot. Esse coeficiente é dado por $\beta_C = T_2/(T_1 - T_2)$, em que T_2 e T_1 são as temperaturas da fonte fria (T_2 = 0 ºC = 273 K) e da fonte quente (T_1 = 39 ºC = 312 K). Substituindo esses valores nas expressões dos coeficientes, achamos $\beta_C = 7$ e $\beta = 1$. Portanto, o trabalho consumido pelo refrigerador é igual ao calor retirado da fonte fria, ou seja, $W = 1,6 \times 10^7$ cal.

Questão 13

Comentário:

A) Substituindo os valores das temperaturas das fontes ($T_{mín.}$ = 27 ºC = 273 K e $T_{máx.}$ = 1 227 ºC = 1 500 K) na equação do rendimento de uma máquina de Carnot, obtemos $\eta_C = 1 - 300/1\,500 = 0,80$. O rendimento real da usina é a metade desse valor: $\eta_{real} = 0,40$. Portanto, a potência gerada é igual a 40% da taxa de calor fornecida. Essa taxa vale:

$(7\,200 \text{ kg}/3\,600 \text{ s}).(5,0 \times 10^7 \text{ J/kg}) = 1,0 \times 10^8 \text{ W} = 100 \text{ MW}$

Assim, a potência gerada pela usina é de 40 MW.

B) A taxa de calor rejeitado pela usina é igual a 60% da taxa de calor fornecida à usina, valendo, portanto, 60 MW. A água do rio recebe esse calor. Usando a expressão $Q = mc\Delta T$, e lembrando que 1 L de água tem massa igual a 1 kg, obtemos a seguinte elevação na temperatura da água do rio:

Taxa de rejeição de calor = vazão de água.c.ΔT

$\Rightarrow 60 \times 10^6 = 5\,000.4\,000.\Delta T \Rightarrow \Delta T = 3$ ºC

Seção Enem

Questão 01 – Letra B

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 6

Habilidade: 21

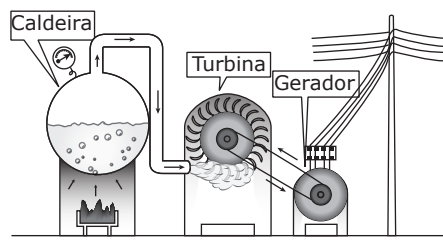
Comentário: De acordo com a 2ª Lei da Termodinâmica, o rendimento de um motor térmico é sempre inferior ao rendimento ideal máximo de um motor de Carnot, cujo valor, $\eta_{Carnot} = 1 - T_f/T_q$, depende exclusivamente das temperaturas da fonte quente T_q e da fonte fria T_f. Embora um motor de Carnot não exista na prática, essa máquina é importante, pois ela serve de referência para limitar o rendimento de um motor operando entre as temperaturas T_q e T_f. Professor, comente que a mesma coisa se aplica para um refrigerador, cuja eficiência é limitada pela eficiência ideal máxima de um refrigerador de Carnot. Essa eficiência é dada por $\beta_{Carnot} = T_f/(T_q - T_f)$. Como ocorre com o motor de Carnot, a eficiência de um refrigerador de Carnot depende apenas das temperaturas das fontes de calor.

Questão 02 – Letra D

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 3

Habilidade: 8

Comentário: Chamamos de energia os recursos disponíveis na natureza que podem ser utilizados para realizar certo trabalho, como o carvão, o petróleo, o gás natural, a biomassa, os materiais físseis (urânio e tório), além da energia hídrica, eólica e solar. Na verdade, o gráfico apresentado nessa questão não contabiliza exatamente essas energias. A informação importante que extraímos do gráfico é que, aproximadamente, 33% da energia primária utilizada é orientada para a geração de eletricidade em usinas térmicas. A figura seguinte ilustra a produção de energia em uma usina térmica simples. Nessa figura, o calor usado para aquecer a água da caldeira pode vir da queima de carvão, de petróleo ou mesmo ser originado pela fissão de um material nuclear, como o urânio. Nesse último caso, a usina térmica é chamada de usina termonuclear ou, simplesmente, de usina nuclear. Como nos ensina a 2ª Lei da Termodinâmica, nem todo o calor fornecido à caldeira de uma usina térmica é convertido em trabalho para girar a turbina e acionar o gerador (energia útil). Uma boa parte dessa energia é perdida para uma fonte fria (essa fonte é o condensador de vapor, equipamento que foi omitido na figura). Por isso, as usinas térmicas apresentam um baixo rendimento. Isso pode ser constatado no gráfico dessa questão, que indica que cerca de 2/3 da energia primária fornecida às usinas de geração de eletricidade são perdidas na forma de calor, enquanto apenas 1/3 é convertido em energia útil (10% da energia total, como indicado no gráfico). Portanto, a resposta mais adequada para esta questão é a alternativa D, que reporta a baixa eficiência das usinas térmicas.

Questão 03 – Letra B

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 6

Habilidade: 23

Comentário: O funcionamento do mecanismo da geladeira ocorre da seguinte maneira: na válvula de expansão, o fluido sofre um processo rápido e adiabático, no qual ele, na forma de líquido quente, tem sua pressão e sua temperatura diminuídas drasticamente. Na saída dessa válvula, a temperatura do fluído é tão baixa que ela é menor do que a temperatura da fonte fria (o interior da geladeira). Por isso, o fluido (uma mistura de líquido e vapor) atravessa o evaporador, retirando o calor Q_2 da fonte fria. O vapor resultante entra no compressor, recebe um trabalho W (é a etapa do ciclo em que há consumo de energia) e sai quente e pressurizado. A temperatura desse vapor é maior do que a da fonte quente. Por isso, no condensador, o vapor rejeita o calor Q_1 para a fonte quente (o exterior da geladeira). O líquido resultante, ainda quente, entra na válvula de expansão, e o ciclo recomeça.

Vamos analisar as alternativas da questão separadamente.

A) Incorreta. A expansão do gás na válvula de expansão é adiabática e, portanto, não há troca de energia com o exterior.

B) Correta. O calor Q_2 retirado da fonte fria e o calor Q_1 rejeitado para a fonte quente ocorrem de forma espontânea, pois, no evaporador, o fluido está mais frio do que o interior da geladeira enquanto, no condensador, o fluido está mais quente do que o exterior da geladeira. Porém, globalmente, temos o calor passando da fonte fria para a fonte quente. Esse transporte de calor não é espontâneo. Ele ocorre à custa do consumo de energia W no compressor.

C) Incorreta. Na geladeira, Q_1 não é igual a Q_2. O balanço de energia correto é $Q_2 + W = Q_1$. Isso quer dizer que a geladeira rejeita uma quantidade de calor maior do que aquela que foi retirada de seu interior. É por isso que uma geladeira não resfria a cozinha quando a sua porta é deixada aberta.

D) Incorreta. Depois de alguns minutos de funcionamento, a temperatura dentro da geladeira torna-se baixa o suficiente para que os alimentos sejam bem acondicionados. Nesse momento, o compressor da geladeira é automaticamente desligado. Se a geladeira é mal isolada, o tempo para esse ponto ser atingido é maior. O compressor, funcionando por um tempo maior, consome mais energia, de modo que a eficiência do equipamento piora. Abrir a porta da geladeira com muita frequência provoca a migração de ar exterior quente para dentro da geladeira, ocasionando o mesmo efeito.

E) Veja a explicação dada no item C.

Questão 04 – Letra E

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 6

Habilidade: 23

Comentário: Na resolução do exercício 2, apresentamos um esquema simplificado de uma usina térmica, bem como o princípio básico de funcionamento desse tipo de usina de eletricidade. Agora, no exercício 4, temos um esquema mais completo, no qual os principais componentes da usina térmica são mostrados. Na figura do exercício, podemos ver os 4 componentes principais da usina: (1) a caldeira, elemento que recebe a energia fornecida para a usina, (2) a turbina, elemento que gera energia útil para acionar o gerador elétrico, (3) o condensador, elemento no qual ocorre a perda de parte da energia fornecida para a usina para a água do lago (em alguns casos, o calor é rejeitado para as águas de um rio ou do mar e, em regiões desérticas, o calor é rejeitado para uma torre de arrefecimento) e (4) a bomba de água, elemento que garante a circulação do fluido de trabalho (água) dentro das tubulações e componentes da usina. O rendimento da usina é dado pela razão entre o trabalho líquido (trabalho realizado pela turbina menos o trabalho realizado pela bomba) e o calor fornecido para a caldeira. Por exemplo, se em certo intervalo de tempo, o calor recebido pela caldeira for igual a 1 000 (não importa a unidade), o trabalho gerado pela turbina for de 300 e o trabalho para acionar a bomba for de 50, o rendimento da usina será 25%, pois o trabalho líquido foi 250 (300 – 50), e esse valor é igual a 25% da energia recebida pela usina. Agora, vamos analisar cada uma das opções apresentadas para ver como essa eficiência da usina pode aumentar.

A) A redução de combustível usado para aquecer a caldeira não aumenta o rendimento da usina. Reduzindo o combustível, a energia dada para a usina diminui, implicando, também, uma diminuição na produção de eletricidade. Por exemplo, essa redução poderia ser de 1 000 para 500. Nesse caso, o trabalho líquido poderia passar de 250 para 125. Note que, tanto antes quanto depois da redução do combustível, a usina apresentou o mesmo rendimento: 250/1 000 = 125/500 = 0,25 (ou 25%).

B) A redução do volume de água não melhora o rendimento da usina. Na verdade, isso vai degradar o rendimento. A redução do volume de água provoca uma elevação na temperatura do lago, pois esse continua recebendo a mesma quantidade de rejeito térmico da usina. Segundo a equação do rendimento de uma máquina térmica de Carnot ($\eta = 1 - T_2/T_1$, em que T_1 e T_2 são as temperaturas absolutas da fonte quente e da fonte fria), quanto maior a temperatura T_2 da fonte fria (nessa usina, a fonte fria é o lago, e a fonte quente é a chama do combustível), menor é o rendimento da máquina térmica, que, nesse caso, é a usina. Embora a usina não opere segundo o ciclo de Carnot, que é um ciclo puramente teórico, é fato que, quando o rendimento do ciclo teórico diminui, o rendimento do ciclo real também diminui.

C) Usando uma bomba menor, a vazão de água no circuito é reduzida. O rendimento da usina não vai mudar com isso. Apenas os módulos do calor por unidade de tempo (calor fornecido e calor rejeitado) e do trabalho por unidade de tempo (trabalho gerado na turbina e trabalho consumido pela bomba) irão diminuir de valor. Essa relação de energia por unidade de tempo é denominada de potência: potência da turbina, potência térmica da caldeira, etc. Assim, usando uma bomba menor, a usina vai gerar uma potência elétrica menor, mas o seu rendimento térmico, em princípio, não é modificado.

D) Todos os dutos do circuito, e não apenas os dutos de vapor, devem ser recobertos com material isolante a fim de evitar que a água quente que circula pelo sistema perca calor para o meio ambiente. Essa perda de calor, na prática, acaba ocorrendo um pouco e deve ser evitada ao máximo.

E) Nem todo o calor gerado na combustão do combustível é transferido para a água dentro da caldeira. Uma parte expressiva desse calor é perdida por meio dos gases quentes que escapam pela chaminé. Esses gases poderiam ser usados para acionar uma turbina a gás, que, por sua vez, poderia acionar um pequeno gerador elétrico, aumentando, portanto, o rendimento do sistema. Isso é o que os engenheiros chamam de co-geração de energia.

Da discussão anterior, conclui-se que a alternativa correta é a E.

Questão 05 – Letra A

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 6

Habilidade: 23

Comentário: Existem muitas perdas indicadas na figura, como a perda de 25% na caixa de marcha do carro (dos 12 kW que chegam à caixa, 3 kW são dissipados na forma de calor e som). É preciso ler bem a questão e ver que a pergunta refere-se à perda na conversão de calor em trabalho no motor. Essa perda está relacionada não só com a perda natural devida à 2ª Lei da Termodinâmica, mas também a outros fatores, como a queima incompleta do combustível. De acordo com os dados, dos 71 kW que chegam ao motor, 56,8 kW são perdidos. Esse valor corresponde a 80% da taxa de calor de 71 kW fornecida ao motor. Portanto, a alternativa correta é a A.

Questão 06 – Letra D

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 6

Habilidade: 23

Comentário: Vamos analisar as alternativas separadamente.

I. Correta. O calor liberado pela reação nuclear, que ocorre dentro da pilha nuclear, aquece a água da caldeira, que se transforma em vapor a alta pressão e alta temperatura, que, por sua vez, aciona a turbina a vapor. Em uma usina térmica padrão, como a representada no exercício 3, o vapor quente é obtido por meio do aquecimento da caldeira, realizado por uma chama de gás, de carvão ou de um óleo combustível derivado de petróleo.

II. Correta. A turbina aciona o gerador elétrico, que é um equipamento que opera com base na Lei da Indução Eletromagnética de Faraday. Caso o aluno ainda não tenha estudado essa lei, o professor pode adiantar a explicação um pouco. Porém isso não é relevante nessa questão. Basta que o aluno saiba que, em um gerador elétrico, ocorre a transformação de energia mecânica de rotação em energia elétrica. Maiores detalhes sobre essa transformação serão abordados futuramente no estudo do eletromagnetismo.

III. Incorreta. No condensador, o vapor se transforma em água líquida, rejeitando, para isso, calor para a água do rio. Depois de liquefeita, a água é bombeada de volta para o reator nuclear, no qual o ciclo recomeça. Portanto, a água não recebe calor no condensador, ao contrário, ela libera calor ao atravessá-lo. A água que é aquecida é a água do rio.

Dessa discussão, conclui-se que a alternativa correta é a D.

Questão 07 – Letra C

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 5

Habilidade: 21

De acordo com a Segunda Lei da Termodinâmica, um sistema nunca poderá converter integralmente em trabalho o calor recebido de uma fonte. Caso isso ocorresse, seria possível construir uma máquina com rendimento de 100%, o que sabemos muito bem ser impossível. Sendo assim, a alternativa correta é a C.

MÓDULO – C 05

Lentes esféricas

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Soma = 23

Comentário: Professor, chame a atenção para o fato de que não foi mencionado o meio que envolve os elementos do aparato, podendo ele ter índice de refração maior ou menor que o do vidro. Apesar disso, é correto afirmar que o índice de refração do prisma é maior que 1,0. É impossível que o prisma tenha índice de refração MENOR que 1 (a luz teria de se deslocar, dentro dele, com velocidade maior do que c. E, também, é impossível que o índice de refração do prima seja igual a 1 (pois isso faria com o meio externo a ele tivesse índice de refração MENOR que 1).

A afirmativa contida em 08 está errada, pois as leis da reflexão também são aplicáveis ao espelho côncavo.

O item 32 está incorreto, pois nem a velocidade e nem a frequência se alteram se o meio de propagação entre os elementos for não dispersivo.

O que foi dito em 64 também é incorreto, pois a imagem formada pelo espelho côncavo será real (formada pelo encontro dos próprios raios vindos da lâmpada) independente da distância horizontal até a fonte luminosa.

Questão 02 – Letra E

Comentário: A microlente em questão pode ser considerada como sendo plano-convexa, que é uma lente convergente para $n_L > n_{meio}$. Nesse caso, a distância focal (f) é diretamente proporcional ao raio (R) [1/f = (n – 1)(1/R)]. Observe que a microlente está se tornando cada vez mais curva com o tempo de aquecimento e, assim, o raio de curvatura (R) diminui com o tempo. Dessa forma, a distância focal (f) diminui.

Questão 03 – Letra B

Comentário: Quando se aumenta a espessura de uma lente, mantendo-se o seu tamanho, obtemos uma curvatura mais acentuada. Dessa forma, a distância focal da lente vai diminuir. A imagem formada sobre a tela é real. Assim, $D_I > 0$. Vamos analisar a equação de Gauss nos dois procedimentos.

I. Falsa. Para D_O constante, temos: $\frac{1}{f{\downarrow}} = \frac{1}{D_O} + \frac{1}{D_I{\downarrow}}$ ($\frac{1}{D_O}$: Constante positiva)

Observe que D_I deve diminuir.

II. Verdadeira. $\frac{1}{f{\downarrow}} = \frac{1}{D_O{\downarrow}} + \frac{1}{D_I}$ ← Constante positiva

Veja que a distância do objeto à lente deve diminuir.

Questão 04 – Letra C

Comentário: O copo, na região onde o objeto (seta à esquerda) foi colocado, tem o formato de um cilindro. Assim, o copo funciona como lente convergente na direção horizontal, mas não na vertical. Dessa forma, a imagem vertical não sofrerá inversão. O termo "atrás do foco da lente", citado na alternativa C significa $D_O > f$. Se o objeto estiver a uma distância maior que a distância focal da lente convergente, esta formará uma imagem invertida horizontalmente.

Questão 05 – Letra C

Comentário: As duas lentes são convergentes. Uma maneira interessante de o aluno perceber, de forma mais natural, que a lente P é convergente, é lembrar da reversibilidade da luz (raios que chegam paralelo ao eixo, convergempara o foco da lente). Assim, os pontos P e Q correspondem aos focos das lentes 1 e 2, respectivamente. Veja, na figura, que a distância focal da lente 1 é menor que a da lente 2 ($f_1 < f_2$). Assim, como as lentes têm o mesmo tamanho, a primeira delas deve ter maior espessura (curvatura mais acentuada).

Exercícios Propostos

Questão 01 – Letra C

Comentário: Para se queimar uma folha de papel com a luz do Sol, essa luz deve ser concentrada na menor área possível. Para isso, deve-se utilizar lentes convergentes, que correspondem aos perfis I e III, já que são lentes de vidro ($n_{vidro} > n_{ar}$) e de borda mais fina que a parte central.

Questão 02 – Letra D

Comentário: Como o raio de luz que passa por P refrata paralelamente ao eixo óptico, sabemos que P corresponde ao foco da lente. Assim, o ponto Q, que está a 40 cm da lente (dobro da distância focal), corresponde ao ponto antiprincipal. Sabemos que a imagem de um objeto que está no ponto antiprincipal se forma no outro ponto antiprincipal da lente. Portanto, a imagem será formada em D, a 40 cm da lente.

Questão 04 – Letra D

Comentário: A maior concentração (melhor focalização) dos raios solares corresponde à formação da imagem do Sol sobre a folha de papel. O Sol encontra-se muito afastado da lente e sua imagem se forma praticamente sobre o foco. Assim, $D_I = f = 20$ cm (afirmativa I correta).

Quando a lente é usada para ampliar as letras no relógio, a imagem formada é virtual e direta (afirmativa II incorreta). Usando a equação de Gauss, temos:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{D_O} + \frac{1}{D_I} \qquad \frac{1}{20} = \frac{1}{10} + \frac{1}{D_I} \qquad D_I = -20\,\text{cm}$$

Como $D_I = 2D_O \Rightarrow H_I = 2H_O$. Assim, a imagem é duas vezes maior (afirmativa III correta).

Questão 07 – Letra C

Comentário: Embora seja usual desenhar apenas dois raios luminosos para se determinar a imagem de um objeto, esta é formada por uma infinidade de raios de luz que chegam à lente. Se metade da lente é coberta, apenas metade da energia luminosa vai formar a imagem, que terá menor intensidade. Apesar disso, a imagem será formada na sua totalidade pelos diversos raios que passam pela parte inferior da lente.

Questão 08 – Letra D

Comentário: A convergência da lente utilizada pelo professor é C = +1,0 di. Como C = 1/f, a distância focal dessa lente será f = 1,0 m. A imagem é projetada em uma folha de papel que dista 1,20 m da lente ($D_I = 1{,}20$ m). A questão pede a distância entre a janela e a folha (quadro de giz), que é igual à soma da distância do objeto (janela) à lente (D_O) com a distância da lente à imagem (D_I). Assim, utilizando a equação de Gauss, encontramos $D_O = 6{,}0$ m, de forma que o valor pedido será $D_O + D_I = 7{,}2$ m.

Questão 11 – Letra D

Comentário: As duas lentes apresentam uma das faces plana (raio de curvatura infinitamente grande). Assim, $(1/R) \to 0$ para tais faces. O índice de refração do meio é 1. A vergência (C) das lentes pode ser calculada, nesse caso, pela equação dos fabricantes, escrita como:

$$C = (n_L - 1).\frac{1}{R}$$

A convergência (C) de duas lentes justapostas é:

$$C = C_1 + C_2 = (n_1 - 1)\frac{1}{R} + (n_2 - 1)\frac{1}{-R}$$

Resolvendo a equação, temos $C = (n_1 - n_2)/R$.

Questão 13 – Letra D

Comentário: O sistema óptico S produz uma imagem direta. Logo, a imagem é virtual, direta, menor que o objeto e encontra-se do mesmo lado que o objeto, em relação ao sistema óptico. Espelhos convexos não produzem imagens do mesmo lado que o objeto. Uma lente convergente produziria uma imagem do mesmo lado que o objeto, mas a imagem seria virtual e maior que o objeto. Lâminas de faces paralelas não alterariam o tamanho da imagem em relação ao objeto. Já uma lente divergente sempre produz imagens virtuais, diretas, menores que o objeto, formadas entre o foco e o centro óptico da lente e do mesmo lado que o objeto. Portanto, a alternativa correta é a D.

Questão 14 – Letra D

Comentário: A imagem formada é real, invertida e do mesmo lado que o objeto, em relação ao dispositivo óptico. Os únicos dispositivos capazes de formar imagens reais são a lente convergente e o espelho côncavo. Na lente, tal imagem está do lado oposto ao objeto, em relação à lente, e, no espelho, a imagem está do mesmo lado do objeto, em relação ao espelho. Assim, o dispositivo é um espelho côncavo.

Questão 17 – Letra B

Comentário: Veja no gráfico que $p = D_O$ = distância do objeto ao centro da lente e $p' = D_I$ = distância da imagem à lente. Na lente convergente, a imagem tende ao infinito ($p' \to \infty$) quando o objeto se localiza no foco (p = f). Assim, a distância focal é f = 10 cm. Logo, a convergência da lente [C = 1/f (m)] será C = 1/0,1 = 10 di. Para objetos colocados entre a lente e o seu foco, as imagens formadas são virtuais, diretas e maiores que o objeto. Caso o objeto esteja a 50 cm da lente, a imagem terá

$(1/f) = (1/p) + (1/p') \Rightarrow (1/10) = (1/50) + (1/p') \Rightarrow (5/50) - (1/50) = 1/p' \Rightarrow p' = 50/4 = 12{,}5$ cm.
Veja que $p' = p/4 \Rightarrow H_I = H_O/4$

Seção Enem

Questão 01 – Letra E

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 6

Habilidade: 22

Comentário: Como a imagem se forma praticamente sobre o foco da lente, temos $D_I = f = 2{,}0$ m. Como $H_I = H_O.D_I/D_O$, temos:

$H_I = H_O.2{,}0/(200H_O) = 1/100 = 0{,}01$ m $= 1{,}0$ cm

Assim, a área ocupada pela imagem será 100 vezes menor que a área da lente (que recebe a luz solar). Logo, a densidade superficial de energia fica aumentada em, aproximadamente, 10 000%.

Questão 02 – Letra D

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 6

Habilidade: 22

Comentário: Com o objetivo de concentrar a luz e a energia do Sol (que é um objeto real) sobre as velas, seria necessário o uso de espelhos côncavos ou lentes convergentes. Agora, é importante observar que, no enunciado, os romanos chegaram pelo oeste e no meio da tarde. Dessa forma, o Sol se encontrava a meia altura e à frente de Arquimedes. Logo, o uso de lentes não era indicado (uma vez que, se usadas, iriam convergir a luz para a cidade de Siracusa e não para as velas romanas). Logo, ele poderia ter usado espelhos côncavos. Uma vez que o Sol está infinitamente afastado, a luz converge para o foco do espelho e, dessa forma, os navios deveriam estar a uma distância (D) igual à distância focal (f) e o raio de curvatura dos espelhos seria R = 2D.

Observação: 1. Arquimedes poderia ter usado uma enorme quantidade de espelhos planos, com diversos ângulos de inclinação, de modo a concentrar mais energia em cada vela. 2. Seria interessante o professor entrar em contato com o professor(a) de História, numa atividade multidisciplinar, para discutirem com os alunos a invenção dos espelhos e lentes esféricos que só aconteceu, conforme os conhecemos hoje, nos séculos XII e XIII, respectivamente.

Questão 03 – Letra D

Comentário: Primeiro, observe que as duas lentes são convergentes. É fácil o aluno perceber que a lente 1 é convergente. Os raios de luz emitidos pela fonte convergem para o ponto C, onde se localiza a imagem formada pela lente 1. Veja que as distâncias do objeto e sua imagem são iguais e, para isso, $x = 2f_1$. Assim, $f_1 = x/2$. Uma boa forma de o aluno perceber que a lente 2 é, de fato, convergente é usar a reversibilidade da luz. Pense na luz indo da direita para a esquerda. Ela atravessa a lente 2 e converge para o seu foco, ou seja, a distância focal da lente 2 é $f_2 = x$ (claro que isso acontece com a luz vindo da esquerda: ela chega à lente 2 no seu foco e sai paralela ao eixo principal). Como $f_1 < f_2$, a lente 1 tem curvatura das faces mais acentuadas que a lente 2, ou seja, a lente 1 é mais convergente que a lente 2.

MÓDULO – C 06

Instrumentos ópticos

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra D

Comentário: O olho com hipermetropia apresenta grande distância focal, pois o sistema córneo / cristalino converge pouco a luz que chega do exterior, formando imagens atrás da retina, principalmente para objetos próximos ao observador. Por isso, as pessoas devem usar lentes convergentes, de modo a trazer a imagem para a retina.

Na cirurgia, o médico faz incisões radiais na parte central da córnea do paciente, de maneira a aumentar a sua curvatura e, dessa forma, diminuir o raio de curvatura dessa estrutura. Isso diminui a distância focal do sistema, que passa a convergir mais, formando imagens na retina, condição necessária para uma visão normal.

Questão 02 – Letra A

Comentário: A alternativa A está incorreta, pois a imagem de uma pessoa distante teria tamanho menor que o da pessoa.

Questão 03 – Letra A

Comentário: A lente formada pela gota será do tipo plano-convexa, terá um dos raios de curvatura igual a +2,5 mm (+2,5 x 10^{-3} m) e o outro tendendo para o infinito ($1/R \rightarrow 0$). Considere que o meio externo à gota seja o ar ($n_{AR} = 1$) e, assim, o índice de refração da glicerina, em relação ao ar, será n = 1,5. Para que a vergência seja obtida em di (dioptria), o raio deve estar no SI, ou seja, em metro. Dessa forma, tem-se:

$C = (1{,}5 - 1).[(1/2{,}5\text{x}10^{-3}\text{ m}) + 0] = 0{,}5.10^3/2{,}5 = 200\text{ di}$

Questão 04 – Letra A

Comentário: As lentes do telescópio são, ambas, convergentes. Segundo o texto, a primeira imagem é real (objetiva → convergente) e a segunda imagem é ampliada (ocular → convergente).

Questão 05 – Letra D

Comentário: Os raios que chegam paralelos, do astro observado até o espelho A, tentam convergir para um ponto que é o seu foco. Esse foco, onde se forma a imagem produzida pelo espelho A, fica atrás do espelho B, funcionado, para esse espelho, portanto, como objeto virtual. O espelho B, no telescópio newtoniano, é plano e a luz refletida por ele, em direção à ocular, obedece à lei da reflexão (como em qualquer espelho), que garante que os ângulos de incidência e reflexão sejam congruentes.

Exercícios Propostos

Questão 01 – Letra B

Comentário: Quando um objeto é colocado a uma distância muito grande de uma lente (distância muito maior que a distância focal da lente), a imagem dele se forma em uma posição bem próxima do foco da lente. À medida que o objeto se aproxima da lente, a sua imagem se afasta da lente. Assim, tendo em vista que o filme deve ser posicionado sobre a linha tracejada para produzir a imagem de um objeto muito distante, temos que, para produzir a imagem de um objeto que se encontra próximo à lente, o filme deve ser afastado desta.

Deve-se observar, também, que, como a imagem deve ser projetada sobre o filme, temos que a imagem deve ser real, ou seja, invertida. Logo, o diagrama que melhor representa o filme e a imagem da vela projetada pela lente é o da alternativa B.

Questão 02 – Letra A

Comentário: A lente para uma câmera fotográfica simples deve ser convergente (para formar imagens reais sobre o filme) e apresentar distância focal pequena (de modo que todo objeto esteja suficientemente longe da lente para que a imagem se forme próximo ao foco – onde deve estar o filme). A lente convergente é usada por quem apresenta hipermetropia. Portanto, o aluno escolheu a lente de uma pessoa com hipermetropia e de pequena distância focal.

Questão 04 – Letra A

Comentário: As lentes L_1 e L_2 são convergentes e podem corrigir hipermetropia. Veja que o ponto P é o foco de L_1 – a luz que chega à lente passando pelo foco sai paralela ao eixo principal – e o ponto Q é o foco de L_2 – a luz que chega paralela ao eixo converge para o foco da lente. Isso só acontece em lentes convergentes.

Questão 05 – Letra E

Comentário: A hipermetropia, no caso citado na questão, afeta a capacidade de enxergar objetos distantes, cujas imagens se formam atrás da retina. Logo, a pessoa necessita de lentes convergentes. O hipermétrope, com uma pequena acomodação visual, consegue enxergar objetos afastados sem necessidade de correção visual. Assim, nesse caso, basta uma lente com pequena vergência. A presbiopia afeta a capacidade de enxergar objetos que estão perto do usuário (as imagens desses objetos se formam atrás da retina) e exige correção com lentes convergentes. Como a distância do objeto é bem pequena, isso requer uma lente com vergência muito elevada. Logo, ambas as lentes receitadas pelo oculista apresentam vergências positivas, sendo que a lente para longe possui menor vergência que a lente para perto.

Curiosidade: A pessoa com presbiopia pode, também, não enxergar objetos muito distantes. Nesse caso, ela deverá usar lentes divergentes para "longe", de modo a aproximar do olho a imagem formada pela lente (que servirá de objeto para o olho do observador). Logo, essa pessoa deverá usar dois pares de óculos: um convergente para "perto" e outro divergente para "longe".

Questão 06 – Letra C

Comentário: Vamos analisar as alternativas separadamente.

A) Incorreta. A imagem formada pelo espelho plano é direta e virtual.

B) Incorreta. A imagem formada sobre o filme da máquina é real e invertida.

C) Correta. A imagem de um objeto visto com uma lupa, lente convergente com o objeto posicionado antes do foco, é virtual, direta e maior que o objeto.

D) Incorreta. A imagem projetada sobre a tela tem de ser real, portanto, invertida.

E) Incorreta. No olho humano, a imagem é projetada na retina e, por isso, deve ser real e invertida.

Questão 07 – Letra D

Comentário: Para que a imagem possa ser projetada na tela (real), a lente do projetor deve ser convergente. Observe na figura que x = 600 cm é a distância entre o objeto e sua imagem. Assim, $x = D_O + D_I$.

A imagem é ampliada 59 vezes. Logo:

$H_I = 59H_O \Rightarrow D_I = 59D_O$

$x = D_O + D_I \Rightarrow 600 = D_O + 59D_O \Rightarrow D_O = 10$ cm e $D_I = 590$ cm

Usando a equação de Gauss, temos:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{D_O} + \frac{1}{D_I} \qquad \frac{1}{f} = \frac{1}{10} + \frac{1}{590} = \frac{59}{590} + \frac{1}{590} \qquad f = 9{,}8 \text{ cm}$$

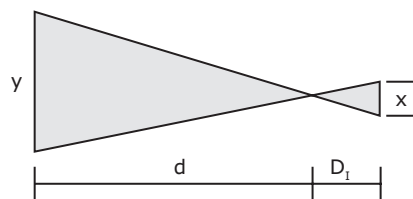
Questão 08 – Letra C

Comentário: Para objetos distantes, a imagem se forma sobre o foco. Dessa forma, para objetos distantes, $f' = D_I = 2{,}5$ cm. Para uma visão perfeita, a imagem deve se formar sobre a retina, para qualquer posição do objeto. Assim, para objetos a uma distância do olho igual a $D_O = 25$ cm, a imagem deve estar a uma distância $D_I = 2{,}5$ cm do cristalino. Usando a equação de Gauss, temos:

$$\frac{1}{f''} = \frac{1}{D_0} + \frac{1}{D_I} \qquad \frac{1}{f''} = \frac{1}{25} + \frac{1}{2{,}5} \qquad f'' = 25/11 \text{ cm}$$

Logo, a diferença $\Delta f = f'' - f' = 25/11 - 2{,}5 = -2{,}5/11$ cm.

Questão 09 – Letra B

Comentário: A questão, embora pareça complexa, pode ser resolvida com uma simples semelhança de triângulos. Veja a seguir:

x = distância entre três cones = 2 μm = 2×10^{-4} cm

y = separação entre os objetos = 1 cm

d = distância do objeto ao olho

D_I = distância da imagem à córnea = 2,5 cm

Assim, temos $\frac{d}{D_I} = \frac{y}{x}$ $\quad \frac{d}{2{,}5} = \frac{1}{2 \times 10^{-4}}$ $\quad d = 125$ m

Questão 19

Comentário:

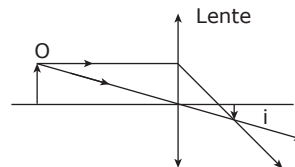
A) $H_O = 60H_I \Rightarrow D_O = 60D_I \Rightarrow D_I = D_O/60$

Usando a equação de Gauss, temos:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{D_O} + \frac{1}{D_I} \qquad \frac{1}{5} = \frac{1}{D_O} + \frac{1}{(D_O/60)} = \frac{1}{D_O} + \frac{60}{D_O}$$

$D_O = 305$ cm = 3,05 m

B) Como a lente é convergente e o objeto se encontra além da posição 2f daquela, a imagem formada é real, invertida e menor que o objeto.

C)

Questão 20

Comentário:

A) Como o míope possui o olho muito convergente (as imagens se formam antes da retina), ele deve usar lentes divergentes.

B) No olho míope, a lente a ser usada deve ser capaz de formar, para objetos no "infinito", imagens no ponto remoto do míope, ou seja, $P_R = -D_I$ (a imagem é virtual, pois a lente é divergente). Assim, $D_I = -20$ cm e essa imagem servirá de objeto para o olho do paciente. Como $D_O \to \infty$, $(1/D_O) \to 0$. Usando a equação de Gauss, temos:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{D_O} + \frac{1}{D_I} \qquad \frac{1}{f} = 0 - \frac{1}{20} \qquad f = -20 \text{ cm}$$

Seção Enem

Questão 01 – Letra D

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 6

Habilidade: 22

Comentário: Os cones são responsáveis pela visão das cores dos objetos e os bastonetes, pela visão da intensidade de luz que chega à retina. Assim, os bastonetes percebem imagens em tons de cinza que vão de um tom bem claro (para muita luminosidade) a outro bem escuro (quando a intensidade luminosa que chegar ao olho for pequena). Se o indivíduo possui deficiência nos cones da retina, ele não distinguirá cores, e, dessa forma, perceberá o objeto em tons de cinza.

Questão 02 – Letra C

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 5

Habilidade: 17

Comentário: A sensação que temos do "tamanho dos objetos" depende do seu tamanho real e da distância a que ele se encontra de nossos olhos. Logo, essa sensação depende do ângulo de visão segundo o qual o objeto é visto (ângulo formado pelos raios de luz que partem das extremidades do objeto e chegam ao nosso olho). Quanto menor for esse ângulo, menor vai nos parecer aquele objeto. Dessa forma, temos a impressão de que um objeto distante é menor do que ele é na realidade. Da mesma forma, um objeto menor (no caso, a imagem formada pelo espelho) vai nos parecer mais distante. Portanto, da discussão anterior, conclui-se que a alternativa correta é a C.

Questão 03 – Letra C

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 5

Habilidade: 17

Comentário: Observe, nas figuras da questão, que o problema 1 se refere à miopia (o sistema córnea-cristalino converge os raios paralelos para um ponto antes da retina – olho muito convergente) e o problema 2 se refere à hipermetropia (o sistema córnea-cristalino converge os raios paralelos para um ponto após a retina – olho pouco convergente). A correção do problema 1 se faz com lentes divergentes e a do problema 2 com lentes convergentes. Portanto, a alternativa correta é a C.

Questão 04 – Letra A

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 5

Habilidade: 17

Comentário: A ampliação que os instrumentos ópticos fornecem está relacionada com o aumento do ângulo de visão em que vemos a imagem de um objeto. Isso pode acontecer quando vemos uma imagem ampliada em relação ao objeto ou quando a imagem é aproximada do observador.

MÓDULO – D 07

Associação de resistores

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra B

Comentário: Vamos analisar as alternativas separadamente.

A) Incorreta. Em uma associação de resistores em paralelo, a corrente divide em proporção inversa da resistência. Estando os ramos da associação submetidos à mesma voltagem, aquele com a menor resistência total recebe a maior parcela de corrente. No caso dessa questão, o ramo inferior apresenta resistência igual a 6 Ω. Como essa é exatamente a resistência total do ramo superior (2 + 4 = 6 Ω), a corrente nos dois ramos da associação apresenta a mesma intensidade.

B) Correta. Como a resistência do resistor 1 é igual à resistência equivalente dos resistores do outro ramo da associação, a potência dissipada no resistor 1 (taxa de transferência de calor ou calor gerado por segundo) é igual à soma das potências dissipadas nos resistores do outro ramo.

C) Incorreta. Como o resistor 1 está conectado diretamente aos polos da bateria, e como esta é ideal (a voltagem entre seus polos não muda com a corrente), a voltagem de alimentação desse resistor não sofre qualquer alteração quando os resistores do outro ramo são modificados (queima de um deles, substituição de um por outro diferente, etc.).

D) Incorreta. Como a resistência nos dois ramos da associação são iguais a 6 Ω, basta dividir esse valor por 2 para obtermos o valor da resistência equivalente do circuito.

Assim, $R_{eq} = 6/2 = 3\ \Omega$.

E) Incorreta. O ramo superior da associação está conectado diretamente aos polos da bateria. Qualquer modificação feita no ramo inferior (queima do resistor 1, troca por outro de valor diferente) não modificará as características elétricas (voltagem, corrente, etc.) no ramo superior da associação. Essa explicação é semelhante àquela dada na alternativa C.

Questão 02 – Letra D

Comentário: Na associação em série, a resistência equivalente é:

$R = R_1 + R_2 \Rightarrow R = (1 + x) + (1 - x) \Rightarrow R = 2$

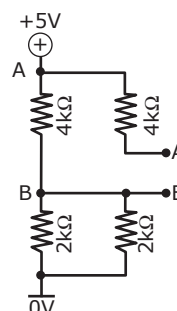
Na associação em paralelo, a resistência equivalente é:

$R = (R_1.R_2)/(R_1 + R_2) \Rightarrow$

$R = [(1 + x).(1 - x)]/(R_1 + R_2) \Rightarrow R = [1 - x + x - x^2]/2 \Rightarrow$

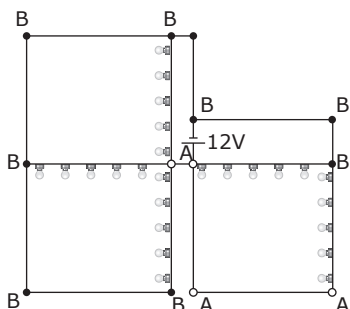
$R = [1 - x^2]/2$

Questão 03 – Letra B

Comentário: O circuito apresentado é um divisor de tensão. Veja os novos pontos A e B na figura a seguir.

O resistor de 4 kΩ da direita está em circuito aberto e não passa corrente por ele. Dessa forma, o ponto A está no potencial de +5 V. Os pontos B (direita e esquerda) estão no mesmo potencial, pois o fio que os interliga não tem resistência. Os resistores em paralelo (entre os pontos B e terra) apresentam resistência equivalente R = 1 Ω. Assim, devemos dividir uma tensão de 5 V entre dois resistores de resistências 4 Ω e 1 Ω, respectivamente. Logo, $V_{AB} = 4$ V.

Questão 04 – Letra C

Comentário: Sejam A(○) e B(●) os potenciais positivo e negativo, respectivamente, da bateria. Veja, na figura, que os diversos ramos da iluminação estão na mesma d.d.p. (V_{AB}) da fonte e, assim, estão em paralelo e cada um deles submetido a uma tensão V_{AB} = 12 V. A potência total do circuito é 100 W e cada ramo dissipa 20 W. Assim, a corrente de cada ramo (e de cada lâmpada, pois elas estão em série) será:

$PR = V_{AB}.IR \Rightarrow 20 = 12.IR \Rightarrow IR = 1,666 \text{ A} \approx 1,7 \text{ A}$

Questão 05 – Letra B

Comentário: O trecho do circuito por onde passam as correntes i_1, i_2 e i_3 é uma ligação em paralelo. Como não há nenhuma resistência por onde passa a corrente i_3 (existe apenas um pequeno fio condutor), esse trecho acha-se em curto-circuito. Toda a corrente que chega nessa associação em paralelo é direcionada para esse fio, de modo que as correntes i_1 e i_2, nos resistores de 3,0 Ω e 6,0 Ω são iguais a zero. A corrente i_3 no fio condutor é a mesma corrente que passa pelo resistor de 10,0 Ω, que representa o limitador de corrente no circuito. Essa corrente é dada pela razão entre a voltagem da bateria e a resistência de 10 Ω, i_3 = 12,0/10,0 = 1,20 A.

Exercícios Propostos

Questão 02 – Letra C

Comentário: Considere os resistores como R_1 e R_2. Nas ligações em série e em paralelo, as resistências equivalentes são:

$$R_s = R_1 + R_2 \text{ e } R_p = \frac{R_1R_2}{(R_1 + R_2)} \qquad 9 = R_1 + R_2 \qquad 2 = \frac{R_1R_2}{(R_1 + R_2)}$$

Resolvendo o sistema, chegamos a uma equação do 2º grau para R_2: $R_2^2 - 9R_2 + 18 = 0$. A solução dessa equação nos fornece os valores dos resistores, ou seja, 3,0 Ω e 6,0 Ω.

Observação: O aluno pode resolver a questão por eliminação de alternativas e análise das opções. Cada resistência da ligação em paralelo é maior que a resistência equivalente. Assim, as alternativas A e B estão eliminadas. Se as resistências fossem iguais, o equivalente em paralelo seria a metade de cada uma. Logo, a alternativa E está descartada. Por tentativa, a alternativa B é a solução. Para resistências ligadas em paralelo, o produto delas dividido pela sua soma fornece a resistência equivalente (3,0.6,0/3,0 + 6,0 = 2,0).

Questão 03 – Letra A

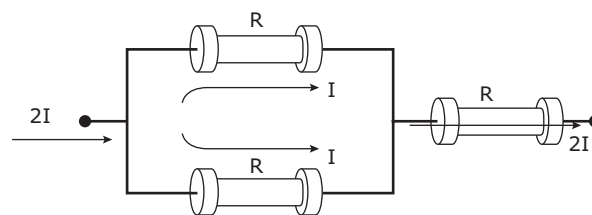
Comentário: Essa questão envolve o reconhecimento de condutores ôhmicos por meio da análise de um gráfico de tensão (V) versus corrente (I), bem como as características de circuitos em paralelo.

Sabe-se que V = RI. Em um gráfico V x I, para certo valor da corrente, quanto maior a tensão, maior será a resistência (R) do condutor. Portanto, analisando o gráfico da questão, conclui-se que a resistência do condutor A é maior do que a resistência do condutor B ($R_A > R_B$).

No circuito representado, R_A e R_B estão em paralelo, por isso as tensões em seus terminais serão as mesmas, $V_A = V_B$. Como $R_A > R_B$ e V = RI, conclui-se que $I_A < I_B$.

Questão 04 – Letra E

Comentário: A potência dissipada em um resistor pode ser calculada pela equação $P = RI^2$. Veja a figura a seguir. Se a corrente que passa em cada resistor da esquerda for igual a I, a corrente no resistor da direita é igual a 2I. Dessa forma, o resistor da direita dissipa a maior potência individual, ou seja, 32 W. Assim, a potência dissipada por cada um dos outros dois deve ser, no máximo, igual 8,0 W, uma vez que a potência depende do quadrado da corrente.

Portanto, a potência total máxima será de (32 + 8 + 8) W, ou seja, 48 W.

Questão 06 – Letra E

Comentário: Observe que os resistores estão ligados em paralelo e a tensão nos extremos de cada um deles é a mesma (V_{AB} = 12 V). Assim, não é necessário calcular a resistência equivalente. Usando V = RI, temos:

No resistor de 2 Ω → i = V/R = 12/2 = 6,0 A.

No resistor R → R = V/I = 12/3 = 4,0 Ω.

Portanto, a alternativa correta é a E.

Questão 09 – Letra C

Comentário: Observe o gráfico da questão. A partir da análise dos seus dados, vamos calcular os valores das resistências R_1 e R_2 usando a equação V = RI.

Para R_1, vamos tomar a tensão d = 4 V → R_1 = V/I = 4/2 = 2 Ω

Para R_2, vamos tomar a tensão e = 8 V → R_2 = V/I = 8/1 = 8 Ω.

Agora, veja o circuito. Os resistores R_1 e R_2 estão em série. Assim, a resistência total do circuito é R = 10 Ω.

Como a tensão da fonte é V = 12 V, temos:

I = V/R = 12/10 = 1,2 A

Questão 10 – Letra D

Comentário: Vamos resolver o exercício usando, apenas, relações proporcionais.

Observe os circuitos. No primeiro, com os resistores em série, a resistência total é $R_1 = 2R$ e a tensão é de 110 V.

No segundo, os resistores estão em paralelo, a resistência total é $R_2 = R/2$ e a tensão é de 220 V.

Assim, a tensão $V_2 = 2V_1$ e $R_2 = R_1/2$. Como $P = V^2/R$ $\Rightarrow P_2 = 16P_1 \Rightarrow P_2 = 16.550$ W = 8 800 W.

Observação: Professor, incentive os seus alunos a usarem esse tipo de raciocínio. Ele desenvolve, nos alunos, habilidades muito cobradas nas provas do Enem.

Questão 13 – Letra B

Comentário: A resistência do fio é proporcional ao seu comprimento. Como a distância entre dois conectores adjacentes é a mesma, a resistência entre eles será, também, a mesma. Dessa forma, o sistema mostrado divide a tensão de alimentação em quatro partes iguais. Logo, a tensão entre quaisquer dois conectores adjacentes é 30 V.

Questão 15 – Letra B

Comentário: Dobrando as tiras 4, 5 e 6, em relação à parte direita do dispositivo, teremos a figura mostrada a seguir. Observe que as tiras 1, 2 e 3 estão em paralelo, assim como as tiras 4, 5 e 6. No entanto, o conjunto formado por cada trio de tiras encontra-se em série um com o outro.

Dessa forma, a associação que corresponde ao arranjo das tiras é a da alternativa B.

Seção Enem

Questão 01 – Letra C

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 2

Habilidade: 5

Comentário: Se cada farol dissipa 55 W de potência, os dois juntos vão dissipar 110 W. Isso significa que a corrente máxima (I), que percorre o circuito, pode ser calculada por $P = VI \Rightarrow I = P/V = 110/36 = 3{,}06$ A. Assim, o fusível escolhido deve suportar esse valor de corrente ou aquele imediatamente superior a tal valor. Dessa forma, o fusível a ser escolhido deve ser o laranja.

Questão 02 – Letra C

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 2

Habilidade: 6

Comentário: Segundo o texto, a eficiência (e) é proporcional à quantidade de luz (LP) produzida dividida pelo consumo (P), ou seja: e α (LP/P) e que a luz produzida, para um mesmo tipo de lâmpada, é proporcional ao consumo.

Veja, na tabela a seguir, tais grandezas para as lâmpadas em questão:

Tipo	Consumo (W)	Luz Produzida (lm)	e (lm/W)
Incandescente	40	600	15
Fluorescente	40	3 000	75
Fluorescente	8	600	75

Questão 03 – Letra B

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 2

Habilidade: 6

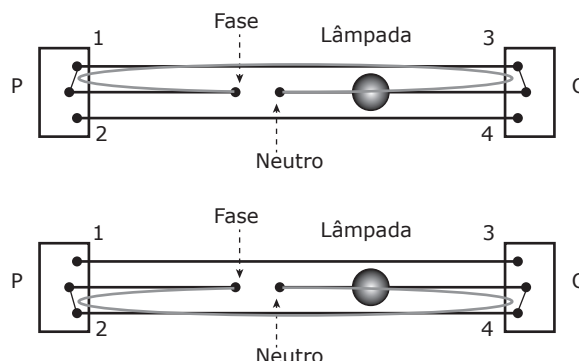
Comentário: Nas alternativas A e C, a chave está controlando apenas um dos resistores e o outro está permanentemente ligado. Nas demais alternativas, a chave controla os dois resistores ao mesmo tempo. Entretanto, nas alternativas D e E, os resistores associados estão em série e isso significa que a potência dissipada é pequena ($P = V^2/R$), uma vez que V é constante. Logo, a resposta está na alternativa B, na qual os dois resistores são controlados pela chave e na qual os dois resistores estão em paralelo (resistência total pequena) e, consequentemente, apresentam elevada potência dissipada.

MÓDULO – D 08

Resistores no dia a dia

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra D

Comentário: Para que a lâmpada possa ser ligada pelos interruptores *three-way* P e Q (TWP, TWQ), a corrente deve passar no circuito fase-TWP-fase-TWQ-lâmpada-neutro ou no fase-TWP-neutro-TWQ-lâmpada-neutro, conforme as figuras a seguir. Assim, o circuito pode ser ligado / desligado de qualquer dos interruptores.

Questão 02 – Letra B

Comentário: Primeiro, o disjuntor deve estar sempre no fio fase (e só nele), de modo que, uma vez desligado, todo o circuito fique com potencial igual a zero. O interruptor deve ficar em série com o dispositivo a ser ligado / desligado pelo mesmo motivo anterior. Por fim, o dispositivo conectado ao circuito deve possuir a d.d.p. da rede e, por isso, cada extremidade do seu circuito deve estar, nos fios fase e neutro.

Questão 03 – Soma = 03

Comentário: Observe que os pontos médios entre as lâmpadas 1 e 3 e entre 2 e 4 estão no mesmo potencial por causa do fio vertical central. Dessa forma, cada uma delas está submetida à mesma tensão ($V_{AB}/2$) e, assim, a corrente de cada uma será i/2 e todas brilham com a mesma intensidade.

Seja R a resistência de cada lâmpada. Logo, a resistência total do circuito será igual a R (R/2 + R/2) e a corrente total (i) será $i = V_{AB}/R$. Desligando-se a lâmpada 1, a resistência total do circuito será: R + R/2 = 3R/2. Assim, a corrente total será:

$I = V_{AB}/(3R/2) = 2V_{AB}/3R = 2i/3$. Logo, as lâmpadas 2, 3 e 4 serão percorridas por correntes iguais a 2i/3, i/3 e i/3, respectivamente. Veja que a lâmpada 2 terá o maior brilho.

Questão 04 – Letra D

Comentário: Nesse tipo de exercício, não é necessário calcular a corrente elétrica em cada aparelho. Melhor seria calcular a potência máxima do circuito (limitada pela corrente máxima que o fusível suporta). Assim, temos:

$P = VI \Rightarrow P_{MÁX} = VI_{MÁX} = 220.25 = 5\,500$ W

A alternativa D exige uma potência total de:

(950 + 1 200 + 3 000 + 1 100)W = 6 250 W

Isso excede a potência máxima e o fusível vai queimar.

Questão 05 – Letra C

Comentário: Essa questão envolve análise de um circuito elétrico no qual houve um curto-circuito.

Inicialmente, as três lâmpadas do circuito estão acesas; quando a chave S é fechada, verifica-se que a corrente não passará mais por L_2 e L_3 (elas foram curto-circuitadas pela chave S). Esse fato ocorre porque a resistência do fio pode ser considerada desprezível; assim, a corrente passará apenas por L_1 e pela chave S. Portanto, quando a chave S é fechada, a lâmpada L_1 permanece acesa, mas L_2 e L_3 se apagam.

Exercícios Propostos

Questão 01 – Letra D

Comentário: Essa questão aborda conceitos relativos a corrente, tensão e potência elétrica.

Como P = VI, a maior corrente circulará pelo circuito quando este dissipar a maior potência. Levando-se em conta que a geladeira já está conectada, a potência total máxima do circuito será:

$P_{máx.}$ = 120 W (geladeira) + 900 W (micro-ondas) + 850 W (torradeira) $\Rightarrow$

$P_{máx.}$ = 1 870 W

Assim, a corrente máxima será:

$I_{máx.} = P_{máx.}/V = 1\,870/120 = 15{,}6$ A

Assim, o fio escolhido deverá suportar 20 A

Questão 05 – Letra E

Comentário: Conforme indicado na figura do exercício, a resistência (r) dos fios de ligação está em série com os aparelhos da residência. Dessa forma, ela funciona como um divisor de tensão entre tal resistência e as resistências dos eletrodomésticos. Quando se aciona o chuveiro, por exemplo, a corrente no circuito aumenta consideravelmente. Dessa forma, a queda de tensão na resistência dos fios de ligação é alta (V = rI) e a tensão que "sobra" para os aparelhos fica menor. Isso justifica a diminuição do brilho das lâmpadas, por exemplo.

Questão 06 – Letra C

Comentário: O chuveiro está ligado a uma tensão que possui valor constante, independentemente de a chave seletora estar na posição inverno ou verão, que é a tensão da rede de alimentação (afirmativa IV incorreta). Logo, a potência dissipada é inversamente proporcional à resistência elétrica ($P = V^2/R$). Dessa forma, as afirmações I e II estão incorreta e correta, respectivamente. A afirmação III é correta, uma vez que a temperatura do banho depende da vazão de água em qualquer potência dissipada.

Questão 09 – Letra C

Comentário: Para que uma lâmpada possa acender, é necessário que a corrente passe por ela através dos terminais A e B, mostrados a seguir. Dessa forma, tais terminais devem ser ligados aos polos positivo e negativo da pilha. Não interessa quais terminais são conectados a quais polos. Na montagem de Mateus, o terminal B está desconectado. Na montagem de Carlos, os dois polos da bateria estão ligados ao terminal B. Dessa forma, a lâmpada, nesses casos, não funciona.

Questão 10 – Letra C

Comentário: Para tensões iguais, a potência será inversamente proporcional à resistência equivalente ($P = V^2/R$). A luminosidade fornecida por uma ou mais lâmpadas é tanto maior quanto maior for a potência efetivamente dissipada por elas. Como a tensão de alimentação é de 220 V e as lâmpadas foram fabricadas para funcionar em 110 V, existe a obrigação de dividir a tensão e, dessa forma, é necessário ter duas lâmpadas em série de modo a dividir a tensão de 220 V entre elas (cada uma com 110 V) e ter a menor resistência equivalente. A associação da alternativa C fornece os quesitos necessários de maior luminosidade sem que nenhuma das lâmpadas se queime.

Questão 11 – Letra E

Comentário: No esquema 1, as lâmpadas estão em série (divisor de tensão) e cada uma delas está submetida a uma tensão elétrica V = 220/3 V. Assim, nenhuma delas vai queimar. No esquema 3, todas em paralelo, a tensão aplicada a cada lâmpada é de 220 V e, portanto, todas vão queimar. No esquema 2, a lâmpada de baixo vai queimar (ligada a 220 V), mas as lâmpadas de cima vão exibir o brilho normal (elas dividem a tensão de alimentação, estando submetidas a 110 V cada uma).

Questão 16 – Letra C

Comentário: As lâmpadas estão ligadas em paralelo e, assim, a tensão (d.d.p.) é a mesma nas duas lâmpadas, $V_{60} = V_{100}$.

A corrente em cada lâmpada é calculada por I = P/V. Sabemos que $V_{60} = V_{100}$. Assim, a corrente em cada uma das lâmpadas é proporcional à potência efetivamente dissipada por elas. Logo, $I_{60} < I_{100}$.

Observação: A solução pode ter essa simplicidade porque as lâmpadas estão em paralelo. Assim, mesmo que a d.d.p. da rede não seja a tensão nominal, esta continua a ser a mesma para as duas lâmpadas. Se elas estivessem ligadas em série, as resistências das lâmpadas teriam de ser analisadas.

Questão 17 – Letra A

Comentário: As duas lâmpadas formam um divisor de tensão e cada uma delas está submetida a uma tensão igual a V/2. Quando o reostato (lâmina bimetálica) arma o circuito, a lâmpada 2 fica em curto-circuito e apaga.

O brilho das lâmpadas depende da potência dissipada por elas. Fechado o circuito, a tensão na lâmpada 1 dobra (fica igual a V) e, portanto, a potência dissipada pela lâmpada 1 será quatro vezes maior que a anterior ($P = V^2/R$). Dessa forma, o seu brilho aumenta.

Seção Enem

Questão 01 – Letra A

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 2

Habilidade: 6

Comentário: A potência máxima da torneira, quando ligada na tensão nominal, é de 5 500 W. Considere que a resistência da torneira (R_1), quando ligada a 127 V, seja a mesma de quando a torneira é ligada em 220 V (R_2). Como $P = V^2/R$, temos:

$R_2 = R_1 \Rightarrow V_2^2/P_2 = V_1^2/P_1 \Rightarrow 220^2/5\,500 = 127^2/P_1 \Rightarrow P_1 = 1\,832$ W.

Sugestão: Fazer a solução indicada acima é trabalhoso, demanda tempo e o aluno tem uma elevada chance de errar alguma operação. Assim, convém que o professor estimule seus alunos a desenvolver a solução a seguir (menos trabalhosa).

Considere que a resistência da torneira seja constante. A tensão de ligação (127 V) é "próxima" da metade da tensão nominal (220 V). Como a potência é proporcional ao quadrado tensão de alimentação ($P = V^2/R$), a potência efetiva, da torneira será, aproximadamente, um quarto da potência nominal.

Assim, a resposta seria $P \cong 5\,500/4 = 1\,375$ W. Com esse resultado o aluno chega à resposta correta.

Questão 02 – Letra C

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 3

Habilidade: 8

Comentário: Sempre que um aparelho elétrico está em funcionamento, a corrente que o percorre passa pela fiação da casa. Assim, uma parte da energia é "perdida" na forma de calor nesses fios. Quatro das recomendações foram citadas com o objetivo de diminuir tais perdas. No caso do ferro de passar roupa, quando você o esquenta para passar uma peça e o desliga, parte da energia fornecida a ele será "perdida" sob a forma de calor, pois ele vai esfriar. Uma forma de economizar energia é acumular certa quantidade de roupa para ser passada de uma só vez, pois, dessa forma, o ferro irá "esfriar" apenas uma vez.

Questão 03 – Letra D

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 5

Habilidade: 17

Comentário: Para se chegar à resposta da questão, basta analisar as duas linhas da tabela. Observe que não há necessidade de conhecimentos acerca de Eletricidade para se resolver a questão. A única exigência é saber que intensidade luminosa, nessa questão, é o mesmo que luminosidade média. Observe na tabela que, quando uma lâmpada de 60 W / 120 V é ligada a uma tensão de 127 V, essa lâmpada passa a dissipar uma potência maior que 60 W, a emitir uma luminosidade média maior que 750 lúmens e a ter vida útil média menor que 1 000 horas. Portanto, a alternativa correta é a D.

Questão 04 – Letra E

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 5

Habilidade: 17

Comentário: A energia consumida pelos aparelhos elétricos ($E = N.P.\Delta t$) depende do número de aparelhos (N), de suas respectivas potências (P) e do tempo de funcionamento (Δt) deles. Assim, a fração percentual do consumo de energia elétrica de cada aparelho, em relação à conta total, dependerá desses mesmos fatores. Portanto, a alternativa correta é a E.

Questão 05 – Letra C

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 5

Habilidade: 17

Comentário: A energia consumida pelo chuveiro será:

$E = 25\%.300 = 75$ kWh

Dessa forma, o tempo total, mensal, dos banhos será:

$E = N.P.\Delta t \Rightarrow 75 = 1.5{,}0.\Delta t \Rightarrow \Delta t = 15$ h = 900 minutos

Assim, o banho diário de cada morador possui uma duração média de:

$\Delta t = 900/(30.4) = 7{,}5$ minutos

Questão 06 – Letra B

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 2

Habilidade: 5

Comentário: Cada lâmpada apresenta a mesma resistência R. O circuito de lâmpadas pode ser desenhado conforme a figura (1). Dessa forma, as lâmpadas 5, 6, 7 e 8 fornecem uma resistência equivalente igual a $R_e = 2R.2R/(2R + 2R) = R$. Assim, o circuito pode ser redesenhado conforme a figura (2). A corrente, após atravessar a lâmpada 1, encontra resistências iguais (2R) nos ramos superior e inferior do circuito (2) e, assim, divide-se igualmente entre tais ramos. Logo, as lâmpadas 2, 3 e 4 são percorridas pela mesma corrente.

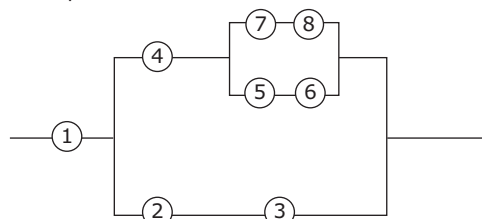



Figura (1)

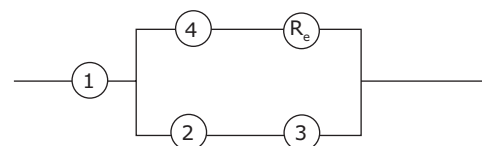



Figura (2)

Questão 07 – Letra B

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 2

Habilidade: 5

Comentário: A potência do chuveiro pode ser determinada por: $P = VI$. Como o disjuntor deve desarmar quando a corrente elétrica ultrapassar o maior valor de corrente que pode circular pelo chuveiro, devemos trabalhar com a maior potência, ou seja, $P = 3\,200$ W.

Logo, temos:

$P_{MÁX} = VI_{MÁX} \Rightarrow 3\,200 = 110.I_{MÁX} \Rightarrow I_{MÁX} = 29{,}1$ A

Assim, devemos escolher o disjuntor que suporte esse valor (que não existe nas alternativas) ou um outro que seja imediatamente superior a ele. Logo, devemos escolher o disjuntor de 30 A.

Questão 08 – Letra A

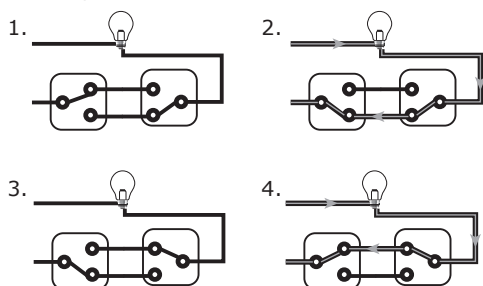
Eixo cognitivo: II

Competência de área: 6

Habilidade: 21

Comentário: A potência do chuveiro pode ser calculada por: $P = V^2/R$. Para que os chuveiros apresentem a mesma potência ($P_B = P_A$), é necessário que: $V_B^2/R_B = V_A^2/R_A \Rightarrow R_A/R_B = V_A^2/V_B^2 \Rightarrow$ $R_A/R_B = 127^2/220^2 \Rightarrow 0{,}3$.

Questão 09 – Letra E

Comentário: Veja os circuitos 1, 2, 3 e 4, a seguir, correspondentes à alternativa E. Na montagem 1, original, a lâmpada não funciona (circuito aberto). Virando a chave da esquerda (2), o circuito liga. Virando a chave da direita (3), ele desliga (circuito aberto novamente). Virando novamente (4) a chave da esquerda, o circuito volta a funcionar.

MÓDULO – D 09

Instrumentos de medidas elétricas

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra C

Comentário: Para se medir a corrente elétrica que passa através de um resistor, o aparelho de medição, o amperímetro, deve ser ligado em série com o resistor, pois, dessa forma, o aparelho será percorrido pela mesma corrente que atravessa o resistor.

Para se medir a queda de potencial em um resistor, o aparelho de medição, o voltímetro, deve ser ligado em paralelo com o resistor, pois, dessa forma, o aparelho estará submetido à mesma voltagem do resistor.

Tendo em vista as considerações anteriores, conclui-se que somente a afirmativa III é correta.

Questão 02 – Letra D

Comentário: Para que a medição da corrente elétrica em um resistor tenha boa precisão, o aparelho de medição, o amperímetro, deverá ter uma resistência interna muito menor do que a resistência do resistor, pois, assim, a resistência equivalente do sistema resistor / amperímetro será praticamente igual à resistência do resistor. Consequentemente, a corrente elétrica a ser medida praticamente não sofrerá alteração.

Para que a medição da voltagem em um resistor tenha boa precisão, o voltímetro deverá ter uma resistência interna muito maior do que a resistência do resistor, pois, assim, a resistência equivalente do sistema resistor / voltímetro será praticamente igual à resistência do resistor. Consequentemente, a voltagem a ser medida, praticamente, não terá o seu valor alterado.

Tendo em vista a discussão anterior, conclui-se que a alternativa correta é a D.

Questão 03 – Letra A

Comentário: As conexões 1 e 2 são corretas. Um amperímetro deve ser ligado em série com o elemento do circuito cuja corrente elétrica queremos medir. Como a resistência elétrica interna de um amperímetro é muito pequena (na verdade, desprezível comparada à resistência do elemento de circuito), a resistência elétrica equivalente do conjunto elemento / amperímetro é praticamente igual à resistência do primeiro, de forma que a corrente registrada é praticamente igual à corrente que havia antes da introdução do amperímetro. Assim, as conexões 1 e 2 estão corretas, pois o amperímetro está ligado em série com a lâmpada (o elemento de circuito cuja corrente queremos medir). Ambas as conexões fornecem os mesmos valores para a corrente elétrica. A diferença é que, na conexão 1, a corrente elétrica convencional atravessa o amperímetro de baixo para cima e, na conexão 2, de cima para baixo.

Professor, comente também as conexões 3 e 4, em que o amperímetro está ligado em paralelo com a lâmpada. Pior que isso, o amperímetro está ligado em paralelo com a pilha. Como a resistência do amperímetro é muito pequena, passará uma grande corrente pelo aparelho, que, por esse motivo, corre risco de ser danificado. As conexões 3 e 4 seriam corretas se o aparelho fosse um voltímetro, cuja resistência interna é muito alta e que deveria ser ligado em paralelo com a lâmpada a fim de medir a tensão elétrica nela. A figura seguinte mostra conexões corretas para se medir a corrente e a tensão na lâmpada por meio de um amperímetro A e um voltímetro V.

Questão 04 – Soma = 13

Comentário:

01. Verdadeira. A ponte está em equilíbrio quando os potenciais V_C e V_D dos pontos C e D são iguais. Nessas circunstâncias, não há corrente no trecho CD.
02. Falsa. Os resistores R_1 e R_2 não estão em série, pois a corrente elétrica proveniente da bateria, no ponto A, divise-se com parte passando pelo resistor R_1 e parte pelo resistor R_2. Essa fato ocorre tanto com a ponte equilibrada, quanto com a ponte não equilibrada.
04. Verdadeira. Conforme explicado em (01), a corrente i = 0 no galvanômetro ocorre quando $V_C = V_D$.
08. Verdadeira. Quando a ponte está equilibrada, os produtos das resistências opostas são iguais: $R_1.R_4 = R_2.R_3$. Nesse caso, realmente $R_1 = R_2.R_3/R_4 = R_3.(R_2/R_4)$.
16. Falsa. Conforme explicado em (08), para a ponte equilibrado, tem-se $R_1.R_4 = R_2.R_3$.

Questão 05 – Letra C

Comentário: A resistência elétrica de cada lâmpada pode ser calculada por:

$$P = \frac{V^2}{R} \qquad 1 = \frac{10^2}{R} \qquad R = 100$$

A lâmpada na parte de baixo do circuito está submetida à f.e.m. da bateria (V_{Bat} = 5,00 V). Portanto, a corrente elétrica que atravessa essa lâmpada, e que é registrada pelo amperímetro ligado em série com a lâmpada, vale

$$I = \frac{V}{R} \qquad I = \frac{5,00}{100} = 0,0500\ \text{A} = 50\,\text{mA}$$

Agora, vamos calcular a corrente elétrica que passa na parte de cima do circuito, onde há duas lâmpadas ligadas em série. Por isso, a resistência equivalente nesse trecho vale 2R = 200 W. Essa resistência está submetida à f.e.m. V_{Bat} = 5,00 V. Logo, a corrente elétrica que passa pelas lâmpadas é

$$I' = \frac{V}{2R} \qquad I' = \frac{5,00}{200} = 0,0250\ \text{A}$$

A tensão em cada lâmpada é R.I' = 100.0,0250 = 2,50 V. Esse resultado faz sentido, pois, como as lâmpadas são idênticas, cada uma recebe a metade da d.d.p total que alimenta o trecho: $V_{Bat}/2$ = 5,00/2 = 2,50 V. Essa d.d.p. é registrada pelo voltímetro ligado em paralelo com uma das lâmpadas.

Exercícios Propostos

Questão 01 – Letra A

Comentário:

A) Um amperímetro deve ser ligado em série com o elemento de circuito cuja corrente queremos medir. Para interferir minimamente na resistência equivalente do circuito, o amperímetro deve ter uma resistência pequena.

B) Um fusível suporta correntes elétricas abaixo de certo valor. Quando percorrido por uma corrente maior, o fusível se rompe.

C) Os resistores convertem energia elétrica em calor, como, por exemplo, em um aquecedor elétrico de casas. Há apenas conversão de energia nesse processo, e não uma economia de energia elétrica. Professor, aproveite o fato de que os alunos estão estudando a 2ª Lei da Termodinâmica no Módulo B 06 para explicar que uma bomba de calor pode aquecer a casa realmente com economia de energia elétrica. Parte do calor usado no aquecimento provém da energia elétrica de acionamento do compressor da bomba de calor, enquanto o restante provém gratuitamente do meio ambiente. No aquecedor de resistência elétrica, todo o calor provém da energia elétrica que alimenta o aquecedor.

D) Conforme vimos no módulo anterior, a resistência interna de uma bateria aumenta com sua idade. Por isso, a f.e.m. da bateria torna-se menor, mas, ainda assim, a bateria pode gerar energia elétrica suficiente para alimentar os elementos do circuito, sobretudo quando a d.d.p. demandada não é tão grande. Por exemplo, uma pilha mais velha serve muito bem para acionar um controle remoto de TV.

E) Um resistor converte a energia elétrica em calor. Todavia, outros receptores elétricos convertem a energia elétrica em outras formas de energia. Por exemplo, um motor elétrico converte energia elétrica em energia mecânica, uma bateria sendo carregada converte a energia elétrica em energia química, etc. Professor, peça para os alunos citarem outros exemplos de conversão de energia elétrica.

Questão 03 – Letra E

Comentário: A corrente elétrica na resistência R_3 = 1,0 W é registrada pelo amperímetro, que marca I_3 = 1,0 A. Então, a tensão nessa resistência é $V_3 = R_3.I_3$ = 1,0.1,0 = 1,0 V. Essa é também a tensão na resistência R_2 = 0,5 W, bem como na resistência equivalente entre as resistências R_2 e R_3, cujo valor é $R_{23} = (1/R_2 + 1/R_3)^{-1}$ = 1/3 W. Então, a corrente nessa resistência é $I' = V_3/R_{23}$ = 1/(1/3) = 3 A. Essa corrente é também a corrente elétrica que passa pela resistência R_1. Logo, a tensão nessa resistência é $V_1 = R_1.I'$ = 4,0.3 = 12 V. A f.e.m. V_{Bat} fornecida pela bateria é a soma das tensões V_1 e V_3. Portanto, V_{Bat} = 1,0 + 12 = 13 V.

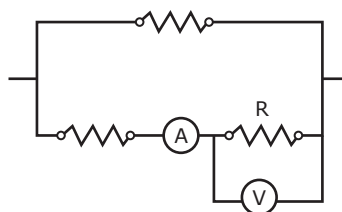
Questão 04 – Letra B

Comentário: Os amperímetros A_1 e A_4 indicam a mesma corrente, pois a corrente que sai da bateria, e que é registrada por A_4, é igual à corrente que chega à bateria, e que é registrada pelo amperímetro A_1. O valor dessa corrente é a f.e.m. da bateria dividida pela resistência equivalente do circuito:

$$I' = \frac{V_{Bat}}{R_{eq}} = \frac{12}{1,5} = 8\,A$$

Os amperímetros A_2 e A_3 também registram valores iguais, pois a corrente I gerada na bateria se divide em duas correntes de 4 A, pois as resistências nos dois trechos em paralelo são iguais. Note que, no lado esquerdo, há uma resistência de 3 Ω, e, no lado direito, há uma resistência de 1 Ω e outra de 2 Ω ligadas em série, de modo que a resistência equivalente é 3 Ω.

Questão 05 – Letra C

Comentário: O amperímetro A deve ser ligado em série com o resistor R, enquanto o voltímetro V deve ser ligado em paralelo com o resistor R. Na opção C, o amperímetro está ligado em série com R, mas o voltímetro está ligado em paralelo com o conjunto R / A, e não com apenas com R. Isso não é um problema, desde que a resistência r do amperímetro seja muito menor que R. Nesse caso, a resistência equivalente do conjunto R / A é praticamente igual a R, de modo que a tensão, nesse conjunto, é praticamente igual à tensão de R. Professor, explique que outra opção para medir a corrente e a tensão no resistor seria fazer a ligação indicada a seguir. Nesse caso, o voltímetro está ligado em paralelo com R, mas o amperímetro está ligado em série com o conjunto R / V, e não apenas com R. Isso não é um problema, desde que a resistência do voltímetro seja muito maior que R. Nesse caso, a resistência equivalente do conjunto R / V é praticamente igual a R, de modo que a corrente, nesse conjunto, é praticamente igual à corrente que passa por R.

Questão 06 – Letra E

Comentário: Se todos os dois aparelhos fossem ideais, a razão entre as leituras do voltímetro e do amperímetro, 10 V e 3,0 mA (0,0030 A), seria igual ao valor da resistência do resistor R (nesse caso, teríamos R = 10/3 kΩ). Como o voltímetro não é ideal e tem uma resistência de 10 kΩ, a razão calculada anteriormente representa a resistência equivalente do conjunto resistor / voltímetro. Como essa associação é em paralelo, a resistência equivalente (R_{eq} = 10/3 kΩ) se relaciona com a resistência do resistor R e com a resistência do voltímetro (R_V = 10 kΩ) por:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R_V} \qquad \frac{1}{(10/3)} = \frac{1}{R} + \frac{1}{10}$$

Explicitando R, obtemos R = 5,0 kΩ.

Questão 09 – Letra C

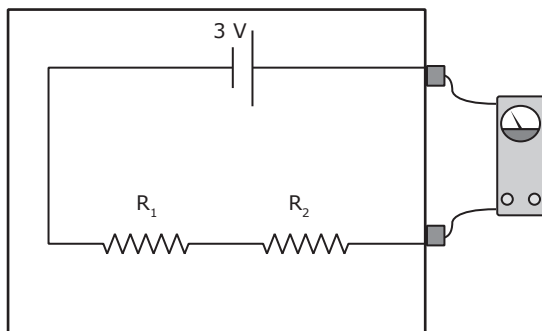
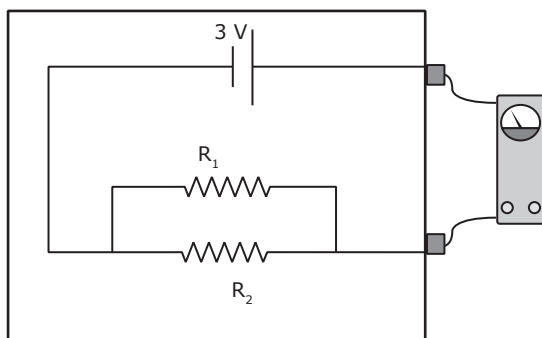
Comentário: Primeiramente, vamos chamar de R a resistência equivalente do trecho superior direito do circuito, em que há três resistores de resistências X, 30 Ω e 120 Ω. Como a ponte está equilibrada, os produtos das resistências opostas são iguais. Assim, R.50 = 300.10, de forma que R = 60 Ω. Como essa resistência equivale a dois resistores em série, um de resistência 30 Ω e o outro de resistência X, ligados, por sua vez, em paralelo com um resistor de resistência 120 Ω, podemos expressar R como:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{60} = \frac{1}{30 + X} + \frac{1}{120}$$

Resolvendo essa equação, obtemos X = 90 Ω.

Questão 10

Comentários:

A) A corrente elétrica de menor intensidade (0,06 A) ocorre quando as resistências R_1 e R_2 são ligadas em série, pois, assim, a resistência equivalente é maior do que no caso em que os resistores são associados em paralelo. De fato, ligados em paralelo, a resistência equivalente é menor e a corrente é maior. Portanto, os esquemas com as associações das resistores R_1 e R_2 nas caixas C e C' são os seguintes:

Caixa C (I = 0,06 A)

Caixa C′ (I′ = 0,25 A)

B) Para calcular R_1 e R_2, podemos montar o seguinte sistema de equações:

1ª montagem: $3/0,06 = 50 = R_1 + R_2$

2ª montagem: $3/0,25 = \frac{1}{12} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

Resolvendo esse sistema, obtemos os valores 20 Ω e 30 Ω para as das resistências R_1 e R_2.

Questão 11

Comentário: Com os dados iniciais, podemos calcular o valor ajustado para a resistência variável R. Esse valor é o quociente entre a d.d.p. de 1,50 V da bateria e a corrente de $1,0 \times 10^{-3}$ A registrada no amperímetro. Assim, obtemos que $R = 1,50 \times 10^3$ Ω. Esse é o circuito interno desse "ohmímetro" improvisado. Conectando a resistência R′, a corrente diminui para $0,30 \times 10^{-3}$ A". Essa iminuição da corrente ocorreu porque a resistência do circuito (R″ = R + R′) aumentou. Essa resistência é dada por $R'' = 1,50/0,30 \times 10^{-3} = 5,0 \times 10^3$ Ω. Logo, R vale $3,5 \times 10^3$ Ω.

Questão 13

Comentário:

A) Como a ponte está equilibrada, a seguinte igualdade deve ser verificada: $R_1R_2 = R_1R$, ou simplesmente $R = R_2$. Para R = 108 Ω, a temperatura T deve ser:

$R = R_0(1 + \alpha T) \Rightarrow 108 = 100(1 + 4,0 \times 10^{-2}\,T) \Rightarrow T = 2,0$ ºC

B) A corrente que passa por R é a mesma que passa por R_2, pois a ponte está equilibrada, de forma que não há desvio de corrente para o amperímetro. Logo, R e R_2 estão em série. Portanto, a resistência equivalente vale 2R = 216 Ω. A d.d.p. V_{AC} é o produto dessa resistência pela corrente, ou seja, $V_{AC} = 216.5,0 \times 10^{-3} = 1,08$ V.

Seção Enem

Questão 01 – Letra C

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 5

Habilidade: 17

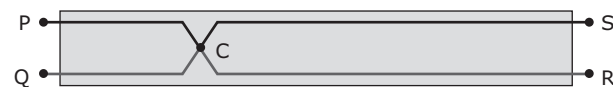
Comentário: A tensão é medida em volts (V). Por isso, o outro terminal da tomada deve ser ligado ao borne onde se lê V (volt). Esse borne também deve ser usado se o multímetro for usado para medir uma resistência (que é dada em ohm, Ω) ou uma capacitância (que é dada em farad, F). As tomadas residenciais (que são de 127 V e 220 V) fornecem tensões alternadas (ora a polaridade da tomada possui um sentido, ora possui sentido oposto). Por isso, a chave do medidor deve ser girada para a posição V~, em que a letra V indica a unidade de tensão, o volt, e o símbolo ~ indica que o sinal de entrada, a tensão, é alternado. Da discussão anterior, conclui-se que a alternativa correta é a C.

Questão 02 – Letra A

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 5

Habilidade: 17

Comentário: A figura a seguir mostra, esquematicamente, o cabo com os dois fios PS e QR. Esses fios deveriam estar isolados um do outro, mas o cabo está danificado devido ao contato interno no ponto C.

Como existe o contato interno entre os dois fios, se um ohmímetro for ligado entre os pontos

- P e Q, ou R e S, então o aparelho irá registrar a resistência elétrica do trecho PCQ, ou RCS. Essa resistência é pequena, mas o seu registro significa que existe um contato C entre os dois fios. Se esse contato não existisse, a resistência elétrica entre P e Q, ou R e S, seria infinita, e o visor do ohmímetro daria uma indicação disso. Por isso, a letra A é a resposta para essa questão.

- P e S, ou Q e R, então o aparelho irá registrar a resistência elétrica do trecho PCS, ou QCR, que é a própria resistência elétrica do fio PS, ou do fio QR. Mesmo que não houvesse o contato C entre os fios PS e QR, ainda assim o ohmímetro ligado entre os pontos P e S, ou Q e R, registraria o valor de resistência desse fio, valor idêntico ao da situação em que o contato existe. Portanto, não é uma boa ideia ligar o ohmímetro entre os pontos P e S, ou Q e R, para detectar a existência do contato interno.

- P e R, então o aparelho irá registrar a resistência elétrica do trecho PCR. Uma indicação de valor infinito seria registrada se não houvesse o contato C entre os fios. Portanto, ligar o ohmímetro entre os pontos P e R é uma boa ideia para verificar a existência do contato interno. A opção C está errada por causa da afirmação de que o ohmímetro indica um valor infinito quando está ligado entre os pontos P e R, pois isso está em desacordo com a informação de existência de um contato interno entre os fios, dada no enunciado da questão.